



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS E VEGETAIS

Juliana Gress Bortolini

Plantas de cobertura: influência nos atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob sistema agroecológico de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.)

Florianópolis, Santa Catarina

2022

Juliana Gress Bortolini

Plantas de cobertura: influência nos atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob sistema agroecológico de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.)

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Recursos Genéticos e Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Roberto F.S.Souares

Coorientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin

Florianópolis, Santa Catarina

2022

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

Bortolini, Juliana Gress

Plantas de cobertura: influência nos atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob sistema agroecológico de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.) / Juliana Gress Bortolini ; orientador, Claudio Roberto Fonseca Sousa Soares, coorientador, Jucinei José Comin, 2022.

135 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Plantas de Cobertura. 3. Atividade Física do solo. 4. Atividade Biológica do solo. 5. Atividade Química do solo. I. Soares, Claudio Roberto Fonseca Sousa . II. Comin, Jucinei José. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. IV. Título.

Juliana Gress Bortolini

Título: Plantas de cobertura: influência nos atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob sistema agroecológico de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.)

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Gustavo Brunetto Dr.
Instituição UFSM

Prof. Arcângelo Loss Dr.
Instituição UFSC

Prof. Paulo Emilio Lovato Dr.
Instituição UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Claudio R.F.S. Soares Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022.

Dedico este trabalho á meus pais Orion e Ariete Bortolini, meu irmão João Victor Bortolini, a meus avós Arlete e Valter Gress (*In memorian*) e meu tio Alberto Henrique Gress.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e amparo nessa caminhada.

À minha família, que com muito esforço, companheirismo, amor e amizade me proporcionaram toda ajuda nesse momento em especial aos meus pais Orion e Ariete Bortolini, a meu irmão Joao Victor Bortolini, a minha avó Arlete Gress e meu tio Alberto Gress sem vocês nada disso seria possível.

As minhas amigas de longa data que mesmo distantes sempre se fizeram presentes me apoiando e incentivando, em especial, Ana Maria Nascimento Bay, Ludmille Cazarotto, Camila Elicker.

Aos excelentes profissionais que estiveram presentes nessa jornada, sou imensamente grata de ter conhecido pessoas tão especiais, Profs. Dr. Jucinei José Comin, Dr. Claudio Roberto F. Souza Soares, obrigada pela oportunidade e disponibilidade de orientação.

Aos professores Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-SC), Prof. Arcangelo Loss, Prof. Cledimar Lourenzi e Prof. Paulo Lovato, por todos os ensinamentos, apoio e incentivo.

Ao Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-SC), em especial a alguns colegas de grupo que estiveram presentes nessa jornada Anna Flavia Neri, Barbara S. Ventura, Edenilson Meyer, Gildean Portela, Guilherme W. Ferreira, Talita Trapp.

Agradecimento especial aos colegas de laboratório Guilherme W Ferreira, por toda ajuda prestada, primeiros ensinamentos no laboratório e Edenilson Meyer por todo suporte estatístico, ajuda nas análises, ensinamentos. Muita gratidão a vocês, sem a ajuda de vocês nada disso teria sido possível.

À colega Bióloga Caroline V. Krug da FURB, por toda a ajuda prestada, troca de ensinamentos.

Aos bolsistas da graduação do grupo, em especial Matheus J. Muller e Janaine Almeida que estiveram presentes em todas as etapas desse trabalho, muitas vezes foram meu ombro amigo, dividindo angustias e aflições, serei eternamente grata pela amizade e companheirismo. Aos queridos, Priscila Dal Lago, Milena Severgnini, Marcos Hollas obrigada, por toda a ajuda e por serem tão acolhedores e carinhosos comigo sempre.

As amigas e colegas do PPG Recursos Genéticos e Vegetais, Denise Faccin, Rafaela G. Rizzolo, obrigada pela amizade, ensinamentos e por se fazerem sempre presentes.

Aos funcionários da UFSC por todos os serviços prestados.

À Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga, SC, pela disponibilidade da área experimental, em especial o Pesquisador Claudinei Kurtz por toda ajuda prestada.

À CAPES, pela bolsa obtida para a realização desse estudo.

“Leve na sua memória para o resto de sua vida as coisas boas que surgiram no meio das dificuldades. Elas serão uma prova de sua capacidade em vencer as provas e lhe darão confiança na presença divina, que nos auxilia em qualquer situação, em qualquer tempo, diante de qualquer obstáculo.”

Francisco Cândido Xavier

RESUMO

A diversidade de espécies vegetais utilizadas no Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) de cebola, ao longo dos anos, tende a promover melhorias nos atributos físicos (agregação), químicos (ciclagem de nutrientes e fertilidade) e na atividade biológica dos organismos presentes no solo, com consequente aumento na produtividade da cultura. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência das plantas de cobertura de inverno (solteiras e consorciadas) nas características físicas, químicas e biológicas do solo em SPDH de longa duração em comparação ao sistema de preparo convencional (SPC). Os tratamentos constituíram-se da semeadura de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, em SPDH: vegetação espontânea (VE); 100 % aveia (*Avena strigosa*); 100 % centeio (*Secale cereale*); 100 % nabo-forageiro (*Raphanus sativus*); consórcio de nabo-forageiro (14 %) e centeio (86 %); e consórcio de nabo-forageiro (14 %) e aveia (86 %). Adicionalmente, foram avaliadas uma área de cultivo de cebola em SPC por ± 40 anos e uma área de mata (floresta secundária; ± 33 anos), ambas adjacentes ao experimento. No ano de 2016 foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Nestas amostras foram avaliados atributos físicos (estabilidade dos agregados do solo), químicos (fertilidade do solo) e biológicos ((glomalina total (GT) e facilmente extraível (GFE)), compreendendo o Capítulo I e Capítulo II. Também foram realizadas seis coletas de amostras de solo nos anos de 2017 e 2018 para a elaboração do Capítulo III, sendo três dessas coletas realizadas durante o ciclo das plantas de cobertura e as outras durante o ciclo da cebola, na profundidade de 0-10 cm, para avaliar biomassa microbiana, respiração basal e atividade enzimática total do solo, avaliada pela enzima hidrolise do diacetato da fluoresceína (DAF). Assim sendo, com base nos resultados obtidos no Capítulo I: “Plantas de cobertura de inverno: influência nos teores de carbono, glomalina e na agregação do solo em sistema plantio direto e preparo convencional de cebola por oito anos” constatou-se que o uso de plantas de cobertura solteiras e consorciadas em SPDH de cebola apresenta resultados 20% superiores na agregação do solo em relação ao SPC, teores 13% maiores de COT (Carbono Orgânico Total) nos agregados, valores 17% maiores na distribuição da massa de macroagregados e o dobro dos teores de GT e GFE. Os tratamentos sob SPDH, em geral, não apresentam diferenças entre si, mas são superiores ao tratamento SPC. No Capítulo II: “Contribuição de plantas cobertura de inverno nos teores de N total, fertilidade do solo e produtividade de cebola em um SPDH de longa duração”, verificou-se que o uso de plantas de cobertura solteiras ou consorciadas sob SPDH influencia os atributos de fertilidade do solo nas amostras de agregados e terra fina seca ao ar (TFSA) em comparação

ao SPC. Por meio da Análise de Componentes principais (ACP) e da análise de cluster evidenciou-se a separação do SPDH do SPC de cebola, assim como a correlação entre as plantas de cobertura solteiras e consorciadas e os atributos químicos do solo nas diferentes camadas avaliadas. No Capítulo III: “Atividade microbiana do solo sob sistema de plantio direto agroecológico de cebola com diferentes plantas de coberturas” foi possível constatar que o SPDH apresenta menores taxas de respiração Basal do solo (RBS), Quociente Metabólico (QoC), indicando um ambiente mais equilibrado por intermédio do uso das plantas de cobertura. Quando avaliado os teores de Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBMS) constatou-se que os tratamentos com Centeio e o Nabo-Forageiro apresentam os maiores teores. O tratamento consorciado entre Centeio+Nabo Forrageiro mostra os maiores valores de DAF. Com esses resultados foi possível constatar a importância das plantas de cobertura solteiras e consorciadas para a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo.

Palavras-chave: Agregados. Glomalina. Biomassa Microbiana. Respiração Basal. Rendimento. Aveia-Preta. Centeio. Nabo-Forageiro.

ABSTRACT

The diversity of plant species used in the No-tillage System of Vegetables (SPDH) of onion, over the years, tends to promote improvements in the physical attributes (aggregation), chemical (nutrient cycling and fertility) and in the biological activity of the organisms present in the soil, with consequent increase in crop productivity. The general objective of this work was to evaluate the influence of winter cover crops (single and intercropped) on the physical, chemical and biological characteristics of the soil in long-term SPDH compared to the conventional tillage system (SPC). The treatments consisted of the sowing of cover crops, single and intercropped, in SPDH: spontaneous vegetation (VE); 100% oat (*Avena strigosa*); 100% rye (*Secale cereale*); 100% radish (*Raphanus sativus*); forage radish (14%) and rye (86%) intercropping; and forage radish (14%) and oat (86%) intercropped. Additionally, an area of onion cultivation in SPC for ± 40 years and an area of forest (secondary forest; ± 33 years) were evaluated, both adjacent to the experiment. In 2016, deformed and undisturbed soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. In these samples, physical (stability of soil aggregates), chemical (soil fertility) and biological ((total glomalin (GT) and easily extractable (GFE)) attributes were evaluated, comprising Chapter I and Chapter II. Six collections of soil samples were also carried out in the years 2017 and 2018 for the elaboration of Chapter III, with three of these collections carried out during the cover crop cycle and the others during the onion cycle, at a depth of 0-10 cm, to evaluate microbial biomass, basal respiration and total soil enzymatic activity, evaluated by the enzyme hydrolysis of fluorescein diacetate (DAF). Therefore, based on the results obtained in Chapter I: "Winter cover crops: influence on carbon, glomalin and soil aggregation in no-tillage system and conventional onion preparation for eight years" it was found that the use of single and intercropped cover crops in onion SPDH shows 20% higher results in soil aggregation in relation to SPC, 13% higher contents of TOC (Total Organic Carbon) in the aggregates, 17% higher values in the macroaggregate mass distribution and double the GT and GFE contents. The treatments under SPDH, in general, do not show differences between them, but they are superior to the SPC treatment. In Chapter II: "Contribution of winter cover plants on total N contents, soil fertility and onion yield in a long-term SPDH", it was found that the use of single cover crops or intercropped under SPDH influences the attributes of soil fertility in aggregates and air-dried fine earth (TFSA) samples compared to SPC. Through Principal Component Analysis (PCA) and cluster analysis, the separation of SPDH from onion SPC was evidenced, as well as the correlation between single

and intercropped cover crops and the chemical attributes of the soil in the different layers evaluated. In Chapter III: "Microbial activity of soil under agroecological no-till system of onion with different cover crops" it was possible to verify that SPDH presents lower rates of basal soil respiration (RBS), Metabolic Quotient (QoC), indicating an environment more balanced through the use of cover crops. When the Carbon contents of Soil Microbial Biomass (CBMS) were evaluated, it was found that the treatments with Rye and Forage Turnip had the highest contents. The intercropped treatment between Rye+Forage Turnip shows the highest DAF values. With these results, it was possible to verify the importance of single and intercropped cover plants for improving the physical, chemical and biological quality of the soil.

Keywords: Aggregates. Glomalin. Microbial Biomass. Basal Breathing. Performance. Black Oat. Rye. Forage turnip.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Temperatura média do ar, precipitação pluviométrica realizadas no ano de 2016, durante o cultivo das espécies de cobertura e verão e inverno.....39
- Figura 2** - Distribuição da massa de macroagregados ($8,00 < \emptyset \leq 2,0$ mm), mesoagregados ($2,0 > \emptyset \geq 0,25$ mm) e microagregados ($\emptyset < 0,25$ mm) estáveis em água em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola, nas profundidades de 0-5, 5-0 e 10-20 cm.....50
- Figura 3** - Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados dos tratamentos no SPDH e SPC de cebola..... 57
- Figura 4** – Teores disponíveis de fósforo (P) nas camadas de 0,00-0,05 m agregados e TFSA (1A), 0,05-0,10 m agregados e TFSA (1B), 0,10-0,20 cm agregados e TFSA (1C) e potássio (K) nas camadas de 0,00-0,05 m agregados e TFSA (1D), 0,05-0,10 m agregados e TFSA (1E) e 0,10-0,20 agregados e TFSA (1F) cm de profundidade em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola.....77
- Figura 5** – Teores disponíveis de Cálcio (Ca) nas camadas de 0,00-0,05 cm (2A), 0,05-0,10 cm (2B), 0,10-0,20 cm (2C) e Magnésio (Mg) nas camadas de 0,00-0,05 cm(2D), 0,05-0,10cm (2E) e 0,10-0,20 (2F) cm de profundidade em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola.....79
- Figura 6** - Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados dos tratamentos no SPDH e SPC de cebola nas camadas de 0-5 (Figura 3a), 5-10 (Figura 3b) e 10-20 cm (Figura 3c).....90
- Figura 7** - Dendrograma de Classen dos dados coletados dos tratamentos no SPDH e SPC de cebola nas camadas de 0-5 (Figura A), 5-10 (Figura B) e 10-20 cm (Figura C)..... 92
- Figura 8** - Taxas de Respiração Basal do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.....110
- Figura 9** - Carbono da Biomassa Microbiana do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.....112
- Figura 10** - Quociente Metabólico do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.....114
- Figura 11** - Taxas de Nitrogênio Basal do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.....116
- Figura 12** - Taxas de Atividade da Hidrolise do Diacetato de Fluoresceína (DAF) sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.....118
- Figura 13** - Análise de componentes Principais (ACP) com análises biológicas em áreas com cultivo de cebola ao longo do ano de 2017.....120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matéria seca (MS) de plantas de cobertura inverno e rendimento de cebola na safra de 2016.....	40
Tabela 2 – Teores de COT (g kg^{-1}) em amostras de agregados do solo e TFSA nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em sistemas de manejo com o cultivo de cebola.....	45
Tabela 3 – Índices de Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio Geométrico (DMG) do solo nas profundidades de 0-5,5-10 e 10-20 cm em SPDH de cebola, Ituporanga(SC).....	49
Tabela 4 – Teores de Glomalina Total (GT) e Glomalina facilmente-extraível (GFE) na camada de 0-10 cm do solo em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola em Ituporanga, (SC).....	53
Tabela 5 – Análise de componentes principais (CP) das variáveis analisadas sob sistemas de uso do solo com cultivo de cebola.....	55
Tabela 6 – Teores de nitrogênio total (NT) de agregados e TFSA sob sistema de plantio direto de hortaliças e sistema de preparo convencional de cebola.....	73
Tabela 7 – Atributos químicos do solo em terra fina seca ao ar (TFSA) sob sistema de plantio direto de hortaliças e sistema de preparo convencional.....	85
Tabela 8 – Matéria seca (MS) de plantas de cobertura de inverno e verão, e rendimento de cebola na safra de 2016.....	88

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	20
2.	REFERÊNCIAL TEÓRICO	22
2.1	SPDH AGROECOLOGICO COM CULTIVO DE CEBOLA (Allium Cepa L.).....	22
2.2	EFEITOS DO USO E DECOMPOSIÇÃO DAS PLANTAS DE COBERTURA SOB OS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO	24
2.2.1	Atributos Físicos	25
2.2.2	Atributos Químicos	28
2.2.3	Atributos Biológicos	30
3.	HIPÓTESES	33
4.	OBJETIVOS	34
4.1	Objetivo Geral	34
4.2	Objetivos Específicos.....	34
5.	CAPÍTULO 1: Efeito da MS das plantas de cobertura nos atributos físicos e químicos do solo em SPDH.....	35
5.1	Introdução.....	36
5.2	Material e Métodos.....	38
5.3	Resultados e Discussão	42
5.4	Conclusões.....	59
5.5	Referências Bibliográficas	59
6.	CAPÍTULO 2: Atributos químicos do solo e produtividade de cebola em sistemas de plantio direto agroecológico de cebola de longa duração com plantas de cobertura de inverno	65
6.1	Introdução.....	66
6.2	Material e Métodos.....	68
6.3	Resultados e Discussão	71
6.4	Conclusões.....	93
6.5	Referências Bibliográficas	94
7.	CAPÍTULO 3: Dinâmica da atividade microbiana do solo sob sistema de plantio direto agroecológico de cebola com diferentes plantas de coberturas.....	102
7.1	Introdução.....	103

7.2	Material e Métodos.....	104
7.3	Resultados e Discussão	109
7.4	Conclusões.....	121
7.5	Referências Bibliográficas	122
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	128
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

APRESENTAÇÃO DA TESE

A presente tese é fruto da parceria entre professores da Universidade Federal de Santa Catarina e pesquisadores da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) de Ituporanga. O trabalho provém de um experimento de longa duração conduzido na Estação Experimental da EPAGRI em Ituporanga (SC), em que vem sendo avaliado o uso de diferentes plantas de coberturas manejadas sob sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) agroecológico, com cultivo de cebola, sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, em comparação a uma área adjacente manejada sob sistema de preparo convencional do solo (SPC).

O projeto apresentado busca contribuir com os trabalhos desenvolvidos pelo Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-SC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) que desenvolve pesquisas desde o ano de 2005 sobre o SPDH sem o uso de produtos agroquímicos. Nesse experimento foram desenvolvidas onze dissertações de mestrado e três teses de doutorado. Os estudos realizados do ano de 2011 até o presente momento são:

- ❖ 2011-Dissertação de Cintia de Camargo Vilanova junto ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da UFSC (PGA), que avaliou as contribuições das plantas de cobertura no manejo ecológico de plantas espontâneas.

- ❖ 2012-Dissertação de Mônica María Machado (PGA), que avaliou os atributos químicos e biológicos do solo e rendimento da cebola em sistema de plantio direto após cultivo com diferentes plantas de cobertura de inverno.

- ❖ 2012-Dissertação de Monique Souza (PGA), que avaliou a produção de cebola e dinâmica de emergência de plantas espontâneas sob plantas de cobertura em sistema plantio direto.

- ❖ 2013-Dissertação de Roberta Pereira Martins (PGA), que avaliou a decomposição e mineralização de nutrientes de resíduos de plantas de cobertura.

- ❖ 2013-Dissertação de Ana Paula Camargo (PGA), que avaliou a aplicação de compostos polifenólicos de *Canavalia ensiformis* (L.) e *Mucuna aterrima* (Pipper & Tracy) Holland na germinação e na emergência de plantas espontâneas.

- ❖ 2015-Dissertação de Rodolfo Assis de Oliveira (PGA), que avaliou a decomposição de plantas de cobertura e efeito no rendimento da cebola e na biodisponibilidade de fósforo em sistema de plantio direto.

- ❖ 2016-Dissertação de Luiz Henrique dos Santos (PGA), que avaliou as frações orgânicas e atributos químicos em agregados do solo sob sistemas de plantio direto e convencional de cebola.
- ❖ 2016-Dissertação de Leoncio de Paula Koucher (PGA), que avaliou a Contribuição do nitrogênio de resíduos de plantas de cobertura para a cebola cultivada em sistema de plantio direto agroecológico.
- ❖ 2017-Dissertação de Vilmar Muller Junior (PGA), que avaliou a emissão de gases do efeito estufa em sistema de plantio direto agroecológico de cebola.
- ❖ 2017-Tese de Monique Souza (PGA), que avaliou o potencial alelopático das plantas de cobertura em plantio direto de cebola agroecológico.
- ❖ 2018-Dissertação de Tais Morais Barbosa (PGA), que avaliou as frações químicas da matéria orgânica do solo influenciadas por plantas de cobertura em sistemas de cultivo de cebola.
- ❖ 2021-Dissertação de Ana Carla Kunesk (PGA), que avaliou teores e estoque de Carbono e Nitrogênio em solo em SPDH.
- ❖ 2022-Tese de Barbara S. de Ventura junto ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da UFSC, que avaliou a influência das plantas de cobertura de inverno sobre a colonização micorrízica e a atividade da enzima fosfatase ácida.
- ❖ 2022-Dissertação Leonardo Giovanetti que avaliou a Diversidade de plantas espontâneas e de fungos micorrizicos arbusculares em sistema de plantio direto com cebola e culturas de cobertura micotróficas e não micotróficas.

1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L) é uma hortaliça que pertence à família Alliaceae. Essa cultura olerícola, do gênero *Allium*, é uma das mais importantes do ponto de vista de consumo e valor econômico (BOITEUX & RIBEIRO, 2004). No Brasil, foi inserida pelos portugueses, inicialmente nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e de Santa Catarina (SC) (HAMMERSCHIMIDT et al., 2013). O estado de SC, mais especificamente a região do Alto Vale do Itajaí, é destaque na produção de cebola com o maior número de produtores, cultivando aproximadamente 20 mil hectares da hortaliça, concentrando mais de 30 % da produção brasileira. Isso torna o Estado o principal produtor nacional, com produtividade média no ano de 2018 de 485.122 mil toneladas e 25.586 t ha⁻¹ (EPAGRI/CEPA, 2019).

No entanto, a maior parte do cultivo da cebola ainda é realizado sob o Sistema de preparo convencional (SPC), que se caracteriza por usar intensivamente fertilizantes e agrotóxicos para o controle de insetos invasores, doenças e espécies espontâneas, e promover uma elevada movimentação do solo pelo uso de maquinários, práticas que ocasionam impactos negativos à qualidade do solo e ambiente (MASSON et al., 2019).

Para minimizar esses impactos tem sido recomendado a agricultores da Região do Alto do Vale do Itajaí, em SC, a adoção do SPD (Sistema de Plantio Direto), mais especificamente para as hortaliças, o SPDH (Sistema de Plantio direto de Hortaliças), que se caracteriza por apresentar práticas mais sustentáveis de manejo, como a promoção do conforto da planta por meio da diminuição de estresses abióticos, nutrição da planta com base nas taxas diárias de absorção de nutrientes, adequando-as às condições ambientais, às reservas nutricionais do solo e aos sinais apresentados pelas plantas; aporte superior a 10 toneladas de fitomassa por hectare e por ano, rotação de culturas e de adubos verdes (cultivados e espontâneos); revolvimento do solo restrito às linhas de plantio ou berços de semeadura, manejo dos adubos verdes espontâneos ou semeados utilizando o rolo-faca e a roçadeira, de forma a evoluir para o plantio direto com cobertura eficiente para eliminar o uso dos herbicidas, e a diminuição progressiva até o fim do uso de adubos altamente solúveis e de agrotóxicos (MASSON et al., 2019).

As práticas adotadas no SPDH se destacam por influenciarem positivamente na recuperação da fertilidade do solo, teores de matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de troca de cátions (CTC) (BAYER & MIELNICZUK, 2008; SOUZA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017), aumento das taxas de disponibilidade de Carbono no solo, além de influenciar positivamente na agregação do solo (SANTOS et al., 2018; LOSS et al.,

2017) e no aumento da atividade biológica nas camadas superficiais e mais profundas do solo (VENTURA et al., 2021). A diversidade de espécies vegetais usadas no SPDH (solteiras, em consórcio ou rotação) influencia os teores e estoques de C e N nas camadas superficiais e, ao longo do tempo, nas camadas mais profundas do solo (BORTOLINI et al., 2021; FERREIRA et al., 2018; SANTOS et al., 2018).

As raízes das plantas também possuem um importante papel nos atributos físicos do solo e na formação dos agregados, especialmente raízes de plantas da família das gramíneas, como a aveia-preta, por meio da elevada deposição e renovação da sua biomassa radicular (SALTON et al., 2008). O sistema radicular dessas espécies também possui a capacidade de realizar associações de simbiose com alguns organismos presentes no solo, e através dessa associação, são liberados compostos orgânicos, conhecidos como mucilagens. Esses compostos liberados propiciam a agregação de partículas de solo, e à medida que as raízes das plantas crescem, realizam pressão sobre as partículas minerais aproximando-as, e a absorção de água pelas raízes também promove o secamento na região adjacente as raízes, com aumento nas forças de coesão entre as partículas de solo (ZONTA et al., 2006).

Os microrganismos presentes na biota do solo, como os fungos e bactérias, apresentam um papel importante na decomposição da matéria seca das plantas de cobertura, liberando CO₂ através da degradação da matéria orgânica. Um importante método usado para determinar as condições abióticas do solo, como a temperatura, umidade e aeração, é a respiração basal do solo (RBS) (CATTELAN & VIDOR, 1990). Juntamente com a RBS, a biomassa microbiana do solo (BMS) também é um importante componente usado para determinar as transformações associadas com nutrientes minerais (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

Atualmente, maior atenção vem sendo dada aos estudos de atributos biológicos indicadores da qualidade do solo, que podem ser utilizados juntamente com os indicadores físicos e químicos do solo, para avaliar a qualidade do solo nos sistemas de cultivo. Pois, os atributos biológicos são eficazes indicadores das mudanças que ocorrem no meio. Estudos da respiração basal, atividade enzimática, nitrogênio da biomassa microbiana e carbono da biomassa microbiana são indicadores sensíveis frente ao manejo adotado e possibilitam a melhor avaliação dos sistemas de cultivo como o SPC, SPD e SPDH (MATSUOKA et al., 2013; BALOTA et al., 2014; VARGAS, VENTURA et al., 2021; COUTO et al., 2013; LAZZARETTI et al., 2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SPDH AGROECOLÓGICO COM CULTIVO DE CEBOLA (*Allium cepa* L.)

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das hortaliças mais antigas cultivadas e é originária da Ásia Central (BREWSTER, 1994). No Brasil, esta cultura teve seu marco inicial com os imigrantes açorianos que colonizaram os estados do RS e SC na década de 1930 (BARBIERI et al., 2005). É uma planta de cultivo bienal e seu desenvolvimento depende da quantidade de luz absorvida, água disponível e da temperatura ideal para seu desenvolvimento, que pode variar de 11 a 25° C. De acordo com a sua fisiologia, a cebola apresenta ciclo compreendido por duas etapas, uma vegetativa e outra reprodutiva (FILGUEIRA, 2008).

A maior parte do cultivo da cebola no estado de SC é realizada no SPC. Esse sistema é fundamentado no uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos e no preparo do solo com aração e gradagens. Práticas estas que resultam em impactos, como redução dos teores de MOS, perda da camada superficial e compactação, que refletem na degradação estrutural do solo. Com o objetivo de minimizar estes efeitos ocasionados pelo SPC, os agricultores da região do Alto do Vale do Itajaí estão realizando a transição para o SPDH, um sistema com princípios agroecológicos com o uso de plantas de cobertura para reduzir a quantidade de plantas espontâneas ao invés de usar herbicidas (FAYAD et al., 2019).

O SPDH teve início em 1990, na Região do Contestado no Estado de SC. Este sistema visa a transição de uma agricultura convencional para uma agricultura de cunho agroecológica, tendo como objetivos a redução ou até mesmo extinção do uso de agrotóxicos e adubos solúveis, a diminuição dos custos de produção e manutenção da produtividade dos cultivos de forma sustentada (FAYAD et al., 2019). Já o SPD se baseia em três princípios fundamentais: o revolvimento do solo restrito, a manutenção permanente de cobertura do solo e a diversificação de espécie de plantas, por rotação e/ou consorciação de plantas (leguminosas, gramíneas, crucíferas, entre outras espécies) e em muitos casos ocorre o uso de produtos agroquímicos para controle de plantas espontâneas e de pragas e doenças (BALOTA, 2017).

Diferentemente do SPD, o SPDH pode ser dividido em dois grandes eixos: O eixo **político-pedagógico**, que possui como objetivos: (a) decisão consciente em sua prática; (b) organização dos agricultores, (c) melhorias na qualidade de vida dos agricultores e consumidores. E o **eixo técnico-científico**, cujos aspectos principais são promover a saúde de planta, e tem como base: (a) promoção do conforto e da saúde da planta, (b) nutrição da planta

perante a taxa diária de absorção de nutrientes, (c) uso de rotação de culturas e de plantas de cobertura e adubos, (d) produção anual de massa seca (MS) superior a 10 toneladas por hectare e por ano através da consorciação e, ou, rotação de culturas, (e) revolvimento do solo restrito às linhas de cultivo, (f) manejo dos adubos verdes espontâneos, com espécies mais adaptadas às condições locais e sem depreciar a produção da cultura econômica, evoluindo para um plantio direto no verde (MASSON et al., 2019).

Alguns trabalhos já realizados no SPDH mostram os benefícios do uso de diferentes espécies de plantas de cobertura no controle de plantas espontâneas, assim como nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Souza et al. (2018), avaliando a influência de plantas espontâneas em SPDH de cebola, constataram que o uso de resíduos de Centeio, Cevada e Aveia-Preta apresentaram maior capacidade de suprimir a emergência de plantas espontâneas, especialmente durante os primeiros 45 dias de campo, que é classificado como um período crítico no desenvolvimento da cebola, onde ocorre maior competição com as plantas espontâneas.

Estudo realizado por Loss et al. (2017) comparando o SPDH e SPC com cultivo de cebola, evidenciou que o uso de plantas de cobertura como Nabo-Forageiro solteiro e consorciado com Centeio e Aveia-Preta no SPDH incrementou os atributos físicos do solo em comparação ao SPC. Bortolini et al. (2021) também comparando os atributos físicos do solo em SPDH e SPC de cebola constataram que o uso de plantas de cobertura como Aveia-Preta e Centeio consorciados com o Nabo-Forageiro também propiciou melhorias nos atributos de agregação do solo, dentre eles a formação de macroagregados em camadas mais profundas. Nesse estudo, os autores também puderam observar aumentos nos teores de COT e glomalina nos tratamentos do SPDH quando comparado ao SPC. Santos et al. (2018), analisando os benefícios do uso de plantas de cobertura nas propriedades químicas dos macroagregados do solo em SPDH e SPC, constataram que uso de plantas de cobertura propiciou maior acúmulo e elevação dos níveis de COT no solo, aumento dos teores de K, Ca⁺² e Mg⁺² e diminuição dos valores de Al³⁺ no SPDH quando comparado ao SPC.

Sendo assim, é possível observar que a introdução de espécies de cobertura e a manutenção de seus restos culturais na superfície do solo ajudam na promoção de melhorias dos atributos físicos (LOSS et al., 2017; SANTOS et al., 2018; FERREIRA et al., 2019); químicos (OLIVEIRA et al., 2016), aumento da atividade microbiana (VENTURA et al., 2021; SOUZA et al., 2020), acúmulo de nutrientes (SOUZA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017) e no controle de espécies espontâneas (SOUZA et al., 2018; SOUZA et al., 2021) Entretanto,

existe a necessidade de aprofundar o conhecimento dos fatores biológicos responsáveis por esses benefícios que são estimulados pela rizosfera das plantas e pelo aporte de biomassa vegetal depositado na superfície do solo (LOSS et al., 2019).

2.2 EFEITOS DO USO DAS PLANTAS DE COBERTURA SOB OS ATRIBUTOS DE QUALIDADE DO SOLO.

Os resíduos das plantas que permanecem sobre a superfície do solo podem liberar gradativamente diversos compostos para o solo, tais como ácidos orgânicos, No SPDH, as espécies de plantas de cobertura mais utilizadas pelos agricultores são a Aveia-Preta e o Centeio, pois, são espécies que depositam grandes quantidades de matéria seca vegetal, podendo chegar a até 10 toneladas de matéria seca por hectare na superfície do solo (MASSON et al., 2019) e também possuem alta relação C/N (OLIVEIRA et al., 2017). A

O manejo dos resíduos vegetais é muito importante nos sistemas de cultivo, pois a fitomassa depositada na superfície do solo sofre influência dos organismos decompositores. Essa influência acaba impactando a velocidade da ciclagem dos nutrientes, que pode ser maior ou menor em função das características do clima, umidade e temperatura (MOORE, 1986; TORRES et al., 2005; ESPINOLA et al., 2006). Uma vez que a maior parte dos nutrientes das plantas se encontram nos resíduos vegetais, que permanecem disponíveis para as culturas em um curto intervalo de tempo, isso contribuiu para o aumento da produtividade das culturas (SOUZA & MELO, 2000).

O Nabo-Forageiro (*Raphanus sativus*) também é muito utilizado na agricultura como cobertura vegetal, sendo pertencente à família das Brassicaceae. No Brasil, o seu cultivo ocorre principalmente em regiões onde as temperaturas são amenas, como no Sul do Brasil, sendo tolerante à seca e à geada (REDIN et al., 2016). Além disso, possui um sistema radicular vigoroso com a capacidade de descompactar camadas adensadas do solo (VALICHESKI et al., 2012). Essa espécie produz, em média, na parte aérea 5000 kg ha⁻¹ de massa seca (SOUZA et al., 2013). Outra espécie muito utilizada é a Aveia-Preta pertencente à família Poaceae. É uma espécie de planta de cobertura de estação outono/inverno na Região Sul do Brasil, muito utilizada solteira ou consorciada com outras espécies, como por exemplo, Aveia-Preta + Nabo-Forageiro, Aveia-preta+Centeio (SOUZA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2016; COMIN et al., 2018).

As espécies de mucuna são também muito utilizadas como opção de cobertura vegetal de verão, pois através do sombreamento que realizam pelas suas folhas e por não serem hospedeiros de nematoides, podem controlar a incidência de plantas espontâneas no sistema de cultivo. São espécies rústicas muito utilizadas na recuperação de solos degradados, sendo também ótimas para a adubação verde e fixação de N atmosférico, e podem acumular em sua parte aérea de 170 a 250 kg ha⁻¹ de N, conforme o estudo realizado por Redin et al. (2016).

O Centeio é uma espécie que se destaca pela sua resistência ao frio, à acidez elevada do solo, ao alumínio tóxico e a doenças. Também se caracteriza por possuir um sistema radicular profundo. É uma gramínea rústica que suporta condições adversas de clima, solo e possui a capacidade de se desenvolver até mesmo em condições de baixa e elevada fertilidade (BAIER, 1994). Alguns estudos realizados em SPDH de cebola mostram que esta espécie pode produzir aproximadamente 8,0 t ha⁻¹ de MS (SOUZA et al., 2013; SOUZA et al., 2018).

O uso solteiro e consorciado de diferentes espécies de cobertura vegetal tende a melhorar, em longo prazo, a qualidade física, química e biológica do solo, uma vez que estas aportam resíduos com diferentes componentes e relações C/N e também proporcionam efeitos relacionados à profundidade e morfologia dos sistemas radiculares (CALEGARI et al., 1993).

2.2.1 Atributos Físicos

A estrutura do solo possui um importante papel no desenvolvimento das espécies de plantas. Solos bem estruturados apresentam maior porosidade, o que pode resultar em uma melhor percolação da água da chuva ou irrigação, além de facilitar as trocas gasosas, influenciando em melhores condições para o desenvolvimento das raízes das plantas e uma maior resistência aos agentes erosivos (SCHIMIGUEL et al., 2014). Sua estrutura é resultante da união de partículas primárias de areia, silte e argila, com posterior cimentação por agentes cimentantes, como a MOS. Por essa união ocorre a formação de estruturas conhecidas como agregados do solo, formação essa que ocorre por meio da união de forças de adesão e coesão e agentes cimentantes, raízes de plantas, hifas de fungos e também por húmus e íons de Fe (Ferro), Al (Alumínio), Ca (Cálcio) (TISDALL & OADES, 1982). E também são estruturas consideradas importantes na proteção física do C do solo contra os processos de oxidação promovidos pelos microrganismos decompositores (TIVET et al., 2013).

Os agregados podem ser classificados em função do seu diâmetro, variando de acordo com o manejo empregado e as características do solo. Em sistemas de manejo

conservacionistas, que podem se assemelhar às áreas de vegetação natural, a presença de macroagregados (agregados maiores) é maior. Em SPD tem-se observado a presença de macroagregados que podem variar de 8 até 19 mm (TIVET et al., 2013), enquanto no SPC predominam macroagregados com tamanho de 0,25 a 2,00 mm de diâmetro (SHEEHY et al., 2015; SINGH et al., 2015). No SPC, por se utilizar o revolvimento periódico do solo, ocorre a ruptura desses agregados maiores e a formação de agregados menores, conhecidos como microagregados (TIVET et al., 2013).

Cada diferente espécie de plantas de cobertura, influência de forma distinta na agregação do solo (Loss et al., 2019). A composição das espécies de plantas de cobertura utilizadas no SPDH determina a dinâmica de produção e a decomposição do material vegetal e a cobertura do solo ao longo do tempo (OLIVEIRA et al., 2016). Espécies da família Poaceae, por possuírem um sistema radicular fasciculado, têm maior influência na estabilidade de agregados do que espécies vegetais com sistema radicular pivotante (SALTON et al., 2008). Já as 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).

As raízes das plantas também possuem a capacidade de formar relações simbióticas mutualísticas ou parasíticas com os microrganismos presentes no solo, os quais podem ser encontrados em determinados locais nas partes aéreas ou subterrâneas das plantas. As micorrizas são consideradas relações mutualísticas mais frequentes na natureza e são formadas por fungos que habitam o solo e colonizam as raízes de algumas espécies de plantas (CERETTA al., 1992; SMITH & READ, 1997).

Na cultura da cebola, a resposta à micorrização é alta, pois a planta possui sistema radicular simplificado e crescimento lento, e que associada aos fungos micorrízicos obtém melhora na utilização de água e nutrientes do solo (VENTURA et al., 2021). Os FMAs possuem grande capacidade de formar relações de simbiose com as plantas por meio da penetração do micélio fúngico inter e intracelular às raízes, não ocasionando modificações morfológicas (SHARMA & ADHLOEYA, 2000).

Além disso, os FMAs produzem e secretam uma glicoproteína denominada de glomalina. Essa glicoproteína é produzida no micélio externo dos FMAs, que juntamente com

as hifas, influencia na agregação e na estabilidade das partículas de agregados do solo e nos estoques de nutrientes, dentre eles o C, N e P (RILLIG et al., 2001), influenciando na qualidade do solo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996). A Glomalina, desempenha papel fundamental no estabelecimento de associações micorrízica, o que resulta no aumento da tolerância das plantas a estresses ambientais (BEDINI et al., 2009). Os FMAs influenciam na estruturação do solo gerando benefícios para sua estabilidade. São importantes na reestruturação de áreas degradadas, desempenhando melhorias da estrutura do solo e auxiliando na redução da erosão (RILLIG et al., 2001). Essa influência pode ocorrer por meio das hifas dos FMAS. Segundo Moreira & Siqueira (2006), as hifas fúngicas podem atingir até 50 m por grama de agregado, contribuindo para a sua estabilidade. Além de uma reação física, promovida através da contribuição dos FMAs na estabilidade dos agregados do solo, uma reação química também é envolvida no processo, por meio da Glomalina (RILLIG & MUMMEY, 2006). A Glomalina é uma glicoproteína hidrofóbica (RILLIG & MUMMEY, 2006) insolúvel em água e imunorreativa e constitui a parede das hifas dos FMAs (DRIVER et al., 2005).

Estudo realizado por Rillig (2004) ressalta que a Glomalina induz a ligações com partículas de argila e, isso por sua vez, pode aumentar a estabilidade de microagregados do solo, recuperando fisicamente o solo. Estudando a distribuição de Glomalina facilmente extraível em Argissolos americanos sob plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), Wright et al. (2007) constataram valores médios de Glomalina facilmente extraível maiores no PD (2,86 mg g⁻¹ de solo) que no PC (2,27 mg g⁻¹). Quando avaliados os agregados do solo, os valores do PD foram maiores do que para PC de 0,53 mg g⁻¹ e 0,66 mg g⁻¹, respectivamente.

Curaqueo et al. (2011) realizaram estudo no Chile, avaliando os teores de Glomalina Total e Glomalina Facilmente Extraível em solos cultivados com milho e trigo sob SPD e SPC durante 6 e 10 anos. Os autores constataram que os maiores valores de Glomalina Total e Glomalina Facilmente Extraível foram encontrados nos tratamentos cultivados sob manejo do SPD quando comparado ao SPC. Foi possível constatar as maiores concentrações de Glomalina no solo com 6 anos de PD, contrariando a expectativa para os maiores teores da proteína na área manejada há 10 anos com PD. Os autores também constataram relações diretas entre diferentes parâmetros como, os teores de Glomalina Facilmente Extraível e a estabilidade de agregados ($r=0,66$) e os teores de Glomalina total e quantidade de hifas ($r=0,58$).

Avaliando teores de Glomalina Total e COT em áreas de SPD e SPC, Borie et al., (2006), observaram que a Glomalina Total apresentou 43% de Carbono, e esse Carbono da Glomalina representou uma significativa proporção de COT, que segundo esse estudo variou de

4,6 a 5% nos tratamentos. Nichols & Wright (2005), em estudo avaliando o fracionamento da MOS, constataram que a glomalina representou 13% do COT, uma quantidade nove vezes maior que o teor dos ácidos húmicos. Através da relação direta entre COT e a Glomalina, as frações de glomalina estão sendo usados como indicadores de alterações ambientais (RILLIG et al., 2003).

Loss et al. (2017) comparando a atividade física em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) e SPC de cebola com a uma área de floresta secundária, constataram que o SPDH aumentou os índices de agregação do solo em relação ao SPC e se igualou aos valores obtidos na floresta secundária. O aumento da estabilidade dos agregados do solo promovida pelo uso de plantas de cobertura é importante, pois dessa forma, também se elevam a porosidade total e umidade volumétrica, melhorando a retenção de água e os nutrientes no solo (LOSS et al., 2017). Pires et al. (2017), avaliando por intermédio de análises micro morfológicas e tomografia computadorizada modificações na estrutura de um Latossolo cultivado com SPD e SPC, observou que no SPC encontra-se um menor agrupamento entre os poros e também maior predominância de poros mais arredondados, diferente do observado no SPD, onde se encontra maior agrupamento entre os poros, os quais são de tamanhos mais complexos, o que favorece a transmissão da água e difusão dos gases.

2.2.2 Atributos Químicos

A MOS é um importante indicador da qualidade dos solos que está associada a todos os processos metabólicos do solo (físicos, químicos e biológicos). Além de possuir uma estreita relação com a agregação e estrutura do solo, é responsável pela manutenção e, ou, aumento da fertilidade e ciclagem de nutrientes (COSTA JR. et al., 2012). A decomposição da MOS, juntamente com a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) da atmosfera, são processos que se constituem em fontes capazes de fornecer importantes quantidades de N às plantas (CARVALHO, 2002).

O N é considerado um dos mais importantes nutrientes responsáveis pelo crescimento e produtividade das culturas. É um nutriente exigido em maiores quantidades nas plantas cultivadas e é responsável por produzir de 2 a 5% de MS vegetal, comprovando a sua importância no metabolismo das plantas, sendo integrante de enzimas, proteínas, DNA, RNA, clorofilas e precursor de hormônios (MALAVOLTA & MORAIS, 2007). Como existe uma importante relação entre os estoques de C e N no solo, para que ocorra o sequestro de C no solo,

o solo deve ter quantidades equilibradas de N. O uso de espécies de plantas da família das leguminosas por um longo período, além de melhorar o estoque de N, aumenta o seu fornecimento à cultura de interesse (AMADO et al., 2000). Estas espécies podem fixar de 44 a 581 kg ha⁻¹ de N por ano conforme DAKORA & KEYA (1997).

As plantas de coberturas também são excelentes indicadores da fertilidade do solo. O conceito sobre a fertilidade do solo em SPDH é diferente dos demais conceitos encontrados na literatura, pois, desde o manejo da produção de mudas à colheita, ele preza pela “saúde da planta” e visa uma produção ótima e não uma produção máxima da cultura. (HIGASHIKAWA et al., 2019).

O potássio (K) e o fósforo (P) são importantes nutrientes para a cultura da cebola, pois o aporte contínuo de resíduos vegetais promovidos pelo SPDH influencia positivamente nos teores destes elementos (VIDIGAL et al., 2010). Souza et al. (2013), realizando avaliação a campo no mesmo experimento do presente trabalho, constataram que a deposição da MS de plantas de cobertura como Aveia-Preta, Centeio, Nabo-Forageiro, Nabo-Forageiro + Centeio e Nabo-forrageiro + Aveia-Preta na superfície do solo propicia aumento dos teores de K trocável e P disponível após dois anos da implantação do experimento, atribuindo isso à ciclagem de nutrientes e manutenção da fertilidade do solo proporcionados pelas plantas de cobertura.

Também avaliando a liberação de diferentes formas de fósforo de plantas de cobertura cultivadas solteiras ou consorciadas em SPDH de cebola realizado no mesmo experimento do presente trabalho, Oliveira et al. (2017) constataram maior acúmulo nos tecidos e liberação no solo da fração solúvel inorgânica do P, proveniente das plantas de cobertura em comparação às plantas espontâneas. Avaliando propriedades químicas de macroagregados do solo em SPDH e SPC com cultivo de cebola no mesmo experimento, Santos et al. (2018) constataram que os tratamentos com uso de plantas de cobertura promoveram maior acúmulo e elevação dos níveis de COT no solo, o que contribuiu para o aumento dos teores de K, Ca⁺² e Mg⁺² e diminuição dos valores de Al³⁺. Ou seja, o SPDH foi mais favorável para melhorar e, ou, aumentar os atributos químicos do solo em comparação ao SPC.

Bortolini et al. (2021), avaliando a influência das plantas de cobertura de inverno quanto aos teores de COT em agregados e terra fina seca ao ar (TFSA), constatou que os valores de COT foram 13% maiores nos agregados do solo. Estudo realizado por Ferreira (2017), observou-se maiores valores de acidez do solo, com menores valores de pH, maiores de H+Al e Al, maiores valores de P e Mg nos agregados do solo em comparação a TFSA. Estudo

realizado em Ituporanga, SC, avaliando o efeito do tempo de uso do SPD cultivado com fumo e cebola sobre atributos físicos do solo, COT e infiltração de água no solo comparado à mata natural, constatou os maiores valores 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 se aproximando mais da área de mata natural, quando comparado aos tratamentos com SPD mais recentes (LUCIANO et al., 2010).

Estudo realizado por Santos et al. (2018) no município de Ituporanga/SC avaliando os efeitos de diferentes espécies de cobertura solteiras (aveia-preta, centeio, nabo-forrageiro) e consorciadas (aveia-preta+nabo-forrageiro e centeio+nabo-forrageiro) em SPDH de cebola quanto aos teores de Nitrogênio Total do solo (NT) e o nitrogênio das substâncias húmicas sob SPC por \pm 37 anos e área com floresta secundária de \pm 30 anos, a aproximadamente 500 m da área do experimento, representando a condição natural do solo. Os autores do trabalho constataram que os tratamentos do SPDH apresentaram os maiores teores de NT na camada de 0-5cm quando comparados ao SPC, além disso, o consórcio entre aveia-preta+ nabo-forrageiro, aumentou o nitrogênio total na humina, assim como a aveia-preta solteira e a vegetação natural elevaram os teores de nitrogênio das frações ácido húmico e ácido fúlvico na profundidade de 10-20 cm.

2.2.3 Atributos Biológicos

Um importante indicador da qualidade do solo nos sistemas de cultivo é a atividade biológica. A biota ocupa a camada superficial do solo de 1 até 30 cm, com uma parcela inferior a 0,5 % do volume total do solo, representando menos de 10 % da MOS. Os microrganismos são os principais responsáveis pela decomposição da MOS, e através dela, disponibilizam os nutrientes em formas assimiláveis para plantas e degradam substâncias conhecidas como tóxicas (KENNEDY & DORAN, 2002). Também formam associações de simbiose com as raízes das plantas, atuando no controle de patógenos, influenciam na solubilização de minerais e na agregação do solo (LOSS et al., 2019).

Nos sistemas de cultivo, a decomposição dos resíduos vegetais depositados sobre o solo é consequência da atividade dos microrganismos (os fungos e as bactérias) presentes no solo, que liberam CO₂ nesse processo, conhecido como respiração basal do solo (RBS). A RBS é analisada através da atividade dos microrganismos, estes por sua vez, apontam as alterações

nas condições do solo que podem ser influenciadas pela temperatura, umidade, entre outros (BROOKES, 1985).

Associado a RBS, tem-se o quociente metabólico do solo (qCO_2), que é obtido pela razão entre a RBS por unidade de BMS (Biomassa microbiana do solo). O uso do qCO_2 como indicador da qualidade das mudanças no solo é fundamentado na metodologia sobre a respiração dos microrganismos (ODUM, 1985). O pesquisador descreve que o aumento nas taxas de respiração dos microrganismos do solo pode ser um indicativo de estresse ambiental. Sendo assim, durante este período de estresse haverá maior gasto de energia para a manutenção celular da biomassa microbiana, em detrimento do crescimento, de forma que uma parcela de carbono da biomassa será perdida como CO_2 .

A BMS é constituída por uma pequena parte viva da MOS e é representada pelos microrganismos do solo compostos por bactérias, actinobactérias, fungos filamentosos, leveduras e protozoários (SIQUEIRA et al., 1994). E é um importante indicador da qualidade do solo na avaliação de estresses ambientais (BALOTA et al., 2014) como, por exemplo, pelo revolvimento do solo que ocorre no SPC. Os fatores que contribuem para a estabilidade da BMS contribuirão para a redução da rotatividade de tecido microbiano, reduzindo taxas de liberação dos nutrientes imobilizados com consequente aumento da conservação dos nutrientes do solo. Ao participar da decomposição da MOS, a biomassa microbiana atua na mineralização e/ou imobilização dos nutrientes, sendo consideradas tanto como reserva ou fonte de nutrientes (BALOTA, 2017).

Outro importante indicador biológico da qualidade do solo é a atividade enzimática. As enzimas presentes atuam na catalisação de atributos bioquímicos, exercendo importante papel na funcionalidade dos processos nos solos. Por isso, a avaliação da atividade enzimática no solo permite detectar as alterações ocasionadas pelas formas de manejo ou influências antrópicas em períodos de tempo mais curtos (CHAER & TÓTOLA, 2007). A avaliação da atividade enzimática total do solo (AET) pode ser determinada por meio da Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (DFA). Neste método, o substrato avaliado é hidrolisado pelas proteases, lipases e esterases, e sua quantificação é realizada como uma medida da avaliação da atividade microbiana total do solo (SCHNURER & ROSWALL, 1982).

Estudo realizado por Garcia (2019), avaliando como o uso de plantas de cobertura e a disponibilidade de P em SPD e SPC com cultivo de soja e trigo por 36 anos, constatou que os teores de CBM e da enzima fosfatase ácida foram superiores no SPD em relação ao SPC. Os autores concluíram que o teor de MOS foi o fator principal que acabou contribuindo para a

distinção entre os sistemas, influenciando num ambiente estável à microbiota do solo na cultura da soja em SPD. Costa et al. (2006) avaliando a qualidade do solo em um Latossolo Vermelho, submetido a SPD e SPC de milho e soja, encontraram teores de CBM 17% maiores em SPD. Os autores destacam que esses maiores valores de CBM indicam que o SPD favorece a atividade biológica do solo.

No estudo Ferreira et al. (2017), avaliando sistemas de manejo do solo e épocas de amostragem nos atributos microbianos do solo cultivado com arroz em sistema agroecológico, verificaram que os sistemas de manejo influenciam nos atributos microbiológicos do solo. E seus resultados constataram que quando comparado o SPC e o SPD, os teores de CBM e Quociente metabólico foram próximos no SPD a áreas de mata nativa. Entretanto, é possível observar que sistemas de manejo onde a comunidade microbiana do solo é pouco manejada ocorre maior estabilidade e contribuem para maior sustentabilidade.

Ventura et al. (2021) avaliando o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura solteiras (aveia-preta, centeio e nabo-forrageiro) e consorciadas (aveia-preta+nabo-forrageiro, centeio+nabo forrageiro), constataram que o uso de plantas de cobertura em SPDH de cebola comparado a SPC manteve a comunidade micorrízica natural em termos de ocorrência e de colonização de plantas, além de influenciar a produção de cebola e absorção de fósforo, quando comparação a áreas de pousio de inverno com plantas espontâneas.

3 HIPÓTESES

1) O cultivo e a deposição dos resíduos das espécies de plantas de cobertura *Avena strigosa* L., *Secale cereale* L. e *Raphanus sativus* L. em sistema de plantio direto agroecológico, por usar revolvimento restrito do solo, melhora os atributos físicos, químicos, biológicos do solo e aumenta a produtividade da cebola ao longo dos anos quando comparado ao sistema de preparo convencional.

2) A deposição dos resíduos das espécies de plantas de cobertura *Secale cereale* L. e *Raphanus sativus* L., solteiras e em consórcio, em sistema de plantio direto promovem maior disponibilidade de nutrientes no sistema de plantio direto de cebola e maior atividade microbiana resultando em maior formação de agentes cimentantes, como a glomalina, que melhoram a agregação do solo.

4) O uso de diferentes espécies de plantas de cobertura em sistema de plantio direto agroecológico de cebola, por serem fonte de C para a comunidade microbiana, influenciam a atividade dos microrganismos do solo, contribuindo para o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo e na atividade enzimática.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência das plantas de cobertura de inverno (solteiras e, ou, consorciadas) nas características químicas, físicas, biológicas do solo e no rendimento de cebola em sistema de plantio direto agroecológico (SPDH) de longa duração em comparação ao sistema de preparo convencional (SPC).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno nos teores de carbono orgânico total, glomalina e agregação do solo em SPDH e SPC de cebola por oito anos.
- 2) Avaliar os efeitos de espécies de plantas de cobertura de inverno nos atributos químicos do solo e na produtividade de cebola no SPDH em comparação ao SPC.
- 3) Avaliar os efeitos das plantas de cobertura sobre a atividade dos microrganismos do solo e as alterações promovidas sobre a biomassa microbiana, respiração basal e atividade enzimática do solo no SPDH comparado ao SPC.

5 CAPÍTULO 1: Plantas de cobertura de inverno: influência nos teores de carbono, glomalina e na agregação do solo em sistema de plantio direto e preparo convencional de cebola por oito anos.

RESUMO

Sistemas de cultivo com o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo por longo tempo, como é o caso do sistema plantio direto de hortaliças (SPDH), modificam os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Vários destes atributos afetam a agregação do solo e o grau de influência depende dos atributos funcionais das plantas de cobertura utilizadas. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno nos teores de carbono orgânico total (COT), glomalina e na agregação do solo em SPDH e sistema de preparo convencional do solo (SPC) de cebola por oito anos. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, com os seguintes tratamentos: testemunha, com vegetação espontânea (VE); *Avena strigosa* (Aveia Preta -AV); *Secale cereale* (Centeio - CE); *Raphanus sativus* (Nabo-Forageiro - NF); *A. strigosa*+*R. sativus* (AV+NF); *S. cereale*+*R. sativus* (CE+NF) e SPC com *Pennisetum glaucum* (milheto) (± 40 anos). Adjacente ao experimento foi avaliada uma área de floresta secundária (± 33 anos). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Nas amostras deformadas (bulk soil, $\varnothing < 2,0$ mm) foram mensurados os teores de COT, glomalina total (GT) e glomalina facilmente-extraível (GFE). Nas amostras indeformadas foram obtidos os agregados do solo. Posteriormente, foi realizada a estabilidade via úmida e quantificados os índices de agregação diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), a distribuição da massa de macroagregados ($8,00 > \varnothing \geq 2,0$ mm), mesoagregados ($2,0 > \varnothing \geq 0,25$ mm) microagregados ($\varnothing < 0,25$ mm). Nos macroagregados também se quantificaram os teores de COT. O tratamento SPC apresentou os menores valores de DMP, DMG e massa de macroagregados. Os menores teores de COT, tanto nos agregados quanto no bulk soil, corroboram com as menores quantidades de GT e GFE no SPC. Verificou-se também que o cultivo de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno em SPDH de cebola, como a AV, CE e NF, tanto solteiras quanto consorciadas, propiciou valores 20% superiores de DMP e DMG, 13% superior para COT nos agregados e 17% superior para massa de macroagregados, quando comparados ao SPC. Os maiores teores de GT e GFE foram obtidos com o emprego da AV como planta de cobertura. Conclui-se que a adoção de plantas de cobertura como AV, CE e NF empregadas de maneira solteira ou consorciada ocasiona melhorias nos atributos físicos

do solo em SPDH da cebola e, que os valores mesmo sendo inferiores àqueles da área de floresta usada como referência, são superiores aos encontrados no SPC.

Palavras-Chave: Consórcio de plantas de cobertura. Diâmetro médio geométrico. Macroagregados. Terra fina Seca ao ar. Carbono orgânico Total. Glomalina Facilmente Extraível.

5.1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma hortaliça de importante valor econômico e foi introduzida no Brasil, inicialmente, nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) (MADEIRA et al., 2013). Em SC, mais especificamente na região do Alto Vale do Itajaí, se concentra o maior número de produtores, sendo cultivados aproximadamente 20 mil hectares desta hortaliça, concentrando mais de 30% da produção brasileira. O Estado é o principal produtor nacional e apresentou um recorde de produção e produtividade médias em 2016, com cerca de 600 mil toneladas e 30 t ha^{-1} , respectivamente (EPAGRI/CEPA, 2017).

No entanto, grande parte de seu cultivo é realizado em sistema de preparo convencional do solo (SPC), com uso de mobilização periódica do solo, fertilizantes de síntese química e agrotóxicos para o controle de pragas, doenças e plantas espontâneas, o que acaba ocasionando diversos impactos ambientais, tais como erosão, lixiviação, perda de nutrientes, entre outros (PANACHUCKI et al., 2011; ALTIERI et al., 2011).

Com o objetivo de minimizar os impactos causados pelo SPC, os agricultores da região do Alto do Vale do Itajaí vêm adotando o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH), que se baseia em princípios agroecológicos que envolvem o revolvimento do solo restrito às linhas de plantio, a manutenção permanente de cobertura do solo com quantidade e qualidade de matéria seca adequadas, adubações equilibradas e a diversificação de espécies vegetais, seja por rotação e/ou consorciação (leguminosas, gramíneas, crucíferas, entre outras), proporcionando autonomia às famílias rurais e promovendo o desenvolvimento rural sustentável (MAFRA et al., 2019).

Pesquisas têm demonstrado efeitos positivos do uso de diferentes espécies de plantas de cobertura para o cultivo de cebola, como a melhoria nas propriedades físicas e químicas do solo (LOSS et al., 2017; COMIN et al., 2018a; SANTOS et al., 2018; FERREIRA et al., 2019; JUNIOR et al., 2019) e biológicas (VENTURA et al., 2021), além da menor emergência de

plantas espontâneas, fatores que influenciam na produtividade e na qualidade dos bulbos da cebola (VILANOVA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016; COMIN et al., 2018b; SOUZA et al., 2018). Entretanto, cultivos sucessivos da cebola podem ocasionar alterações nos atributos do solo, havendo a necessidade de avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo em ensaios de longa duração.

Entre os fatores físicos e químicos influenciados pelo uso e a decomposição de restos vegetais de diferentes espécies sobre o solo destacam-se a capacidade de infiltração de água no solo, proteção contra processos erosivos, diminuição da amplitude térmica e promoção da ciclagem de nutrientes no solo, aumento nos teores de matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de troca catiônica (CTC) e soma de bases (LOSS et al., 2017; SANTOS et al., 2018, UPTON et al., 2019). A competição de plantas espontâneas no sistema de cultivo também tende a ser menor ao longo dos anos, devido à barreira física imposta pelas espécies vegetais (COMIN et al., 2018a; SOUZA et al., 2018).

A matéria seca das plantas de cobertura depositada na superfície do solo pode evitar a germinação e a emergência das plantas espontâneas, seja pela liberação de compostos alelopáticos ou pela promoção de uma barreira física (ALTIERI et al., 2011). O uso de diferentes plantas de cobertura pode contribuir com a redução dos custos com manejo de plantas espontâneas, prevenir a germinação das sementes que estão dormentes no banco de sementes do solo, evitando seu crescimento durante o ciclo da cultura de interesse (BRENNAM & SMITH, 2005). Estudo realizado por Rowe (1997), usando diferentes plantas de cobertura em SPD, constatou que o Centeio apresentou maior supressão das plantas espontâneas. Em outro estudo na mesma área experimental do presente trabalho, Vilanova et al. (2014) verificaram que os tratamentos Nabo-Forageiro e Nabo-forrageiro + Centeio aos 60 DAS (dias após a semeadura das plantas de cobertura), e Centeio e Nabo-Forageiro + Centeio aos 120 DAS influenciaram na produção de matéria seca de plantas de cobertura, o que resultou em menor produção de matéria seca de plantas espontâneas nos tratamentos Nabo-Forageiro + Centeio, seguido de Nabo-Forageiro no início do ciclo da cebola.

As práticas de manejo que compõem os sistemas de cultivo e o uso de plantas de cobertura também influenciam diretamente no acúmulo de MOS e nos índices de agregação do solo, que por sua vez afetam a estrutura do solo e a proteção da MOS. Alguns estudos mostram a estreita relação existente entre estes fatores devido à alta eficiência na ciclagem de nutrientes e por terem sistemas radiculares fasciculados, densos e de rápido estabelecimento com grande exploração do perfil do solo (LOSS et al., 2017; FERREIRA et al., 2018).

Além disso, as raízes das diferentes espécies de plantas de cobertura possuem a capacidade de realizar associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), que são responsáveis por outro fator que tem relação direta com a agregação do solo; a produção glicoproteínas denominadas glomalina (RILLIG et al., 2003). A glomalina é produzida pelas hifas dos FMAs, estando presente nos esporos desses fungos, atuando como agente cimentante (WRIGHT et al., 1996) que auxilia na formação e na estabilização dos agregados e na dinâmica dos estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo (NICHOLS & WRIGHT, 2005).

Em estudo realizado por Wright et al. (1996) em que se avaliaram a relação existente entre os teores de glomalina e a estabilidade de agregados do solo em áreas cultivadas, foi possível constatar o impacto negativo do manejo do solo na redução dos teores de glomalina no solo, com consequentes perdas nos teores de C e índices de agregação do solo. Também tem sido verificado correlação positiva entre as frações glomalina total e o C do solo, confirmando a contribuição desta glicoproteína para a estabilidade dos agregados do solo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998). Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno nos teores de carbono orgânico total, frações de glomalina e na agregação do solo em SPDH e SPC de cebola por oito anos.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

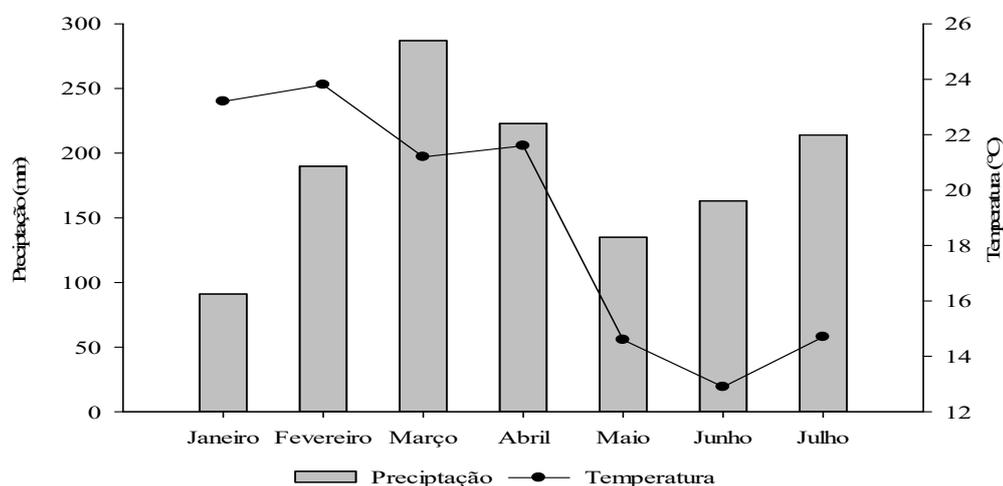
O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), no município de Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina, Brasil (Latitude 27° 24' 52", Longitude 49° 36' 9" e altitude de 475 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é subtropical mesotérmico úmido (Cfa) com temperatura média anual de 17,6 °C e precipitação anual média de 1.400 mm (SOUZA et al., 2013).

O solo foi classificado como Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2013). Os valores médios de temperatura do ar, precipitação e irrigações realizadas durante o período do estudo são apresentados na Figura 1. Os dados meteorológicos foram obtidos através dos registros da Estação Meteorológica da Estação Experimental, localizada aproximadamente a 300 metros de distância do experimento. A área possui um histórico de vinte anos de cultivo de cebola no SPC (aração e gradagem) até 1996. Após essa data, em parte da área foi implantado o sistema de cultivo mínimo de cebola com rotação de culturas de plantas de cobertura Aveia-Preta (*Avena strigosa*), mucuna (*Mucuna aterima*), milheto (*Pennisetum glaucum*), crotalária (*Crotalaria*

juncea), ervilhaca (*Vicia sativa*). Esse sistema permaneceu de 1996 até 2007, quando foi cultivada a batata-doce e explorada até 2009. A partir de então instalou-se o experimento com SPDH agroecológico de cebola. Em abril de 2009, a vegetação espontânea foi dessecada e, em seguida, foi aplicado e incorporado calcário, para elevar o pH em água até 6,0.

Os tratamentos no SPDH avaliados foram implantados no ano de 2009, sendo estabelecidos da seguinte maneira: vegetação espontânea (VE); *Avena strigosa* (Aveia Preta - AV) (120 kg ha⁻¹ de semente); *Secale cereale* (Centeio - CE) (120 kg ha⁻¹ de semente); *Raphanus sativus* (Nabo-Forageiro - NF) (120 kg ha⁻¹ de semente); *A. strigosa* (60 kg ha⁻¹ de semente) + *R. sativus* (10 kg ha⁻¹ de semente) (AV+NF); *S. cereale* (60 kg ha⁻¹ de semente) + *R. sativus* (10 kg ha⁻¹ de semente) (CE+NF). Para fins de comparação com o SPDH, foi mantido um tratamento sob o SPC, no qual a cebola foi cultivada em sucessão com *Pennisetum glaucum* (milheto) no verão. No SPC foram feitas aração, gradagem e escarificação do solo. Na época da coleta das amostras, o SPC apresentava ± 40 anos. Adicionalmente ao SPDH e SPC, avaliou-se uma de floresta secundária (com ±33 anos em processo de regeneração), sendo essa considerada uma área representativa de um solo em condição natural.

Figura 1. Temperatura média do ar, precipitação pluviométrica realizadas no ano de 2016, durante o cultivo das espécies de cobertura e verão e inverno.



Fonte: EPAGRI

Os tratamentos no SPDH avaliados foram implantados no ano de 2009, sendo estabelecidos da seguinte maneira: vegetação espontânea (VE); *Avena strigosa* (Aveia Preta - AV) (120 kg ha⁻¹ de semente); *Secale cereale* (Centeio - CE) (120 kg ha⁻¹ de semente); *Raphanus sativus* (Nabo-Forageiro - NF) (120 kg ha⁻¹ de semente); *A. strigosa* (60 kg ha⁻¹ de

semente) + *R. sativus* (10 kg ha⁻¹ de semente) (AV+NF); *S. cereale* (60 kg ha⁻¹ de semente) + *R. sativus* (10 kg ha⁻¹ de semente) (CE+NF). Para fins de comparação com o SPDH, foi mantido um tratamento sob o SPC, no qual a cebola foi cultivada em sucessão com *Pennisetum glaucum* (milheto) no verão. No SPC foram feitas aração, gradagem e escarificação do solo. Na época da coleta das amostras, o SPC apresentava ± 40 anos. Adicionalmente ao SPDH e SPC, avaliou-se uma de floresta secundária (com ±33 anos em processo de regeneração), sendo essa considerada uma área representativa de um solo em condição natural.

Tabela 1. Matéria seca (MS) de plantas de cobertura inverno e rendimento de cebola na safra de 2016.

Tratamentos	Matéria Seca (t ha ⁻¹) ¹				Produtividade de Cebola ---(t ha ⁻¹)---
	-----Inverno ² -----			Verão ³	
	60	80	120	120	
VE	0,45	0,65	1,41	2,96	16,4
AV	1,75	2,40	3,79	4,23	21,5
CE	1,82	2,22	4,13	4,51	21,7
NF	1,23	1,46	3,77	4,63	19,3
AV+NF	1,83	2,17	4,62	4,24	24,4
CE+NF	1,90	2,19	3,92	4,93	21,4
SPC ⁴	-	-	-	8,00	19,8

Fonte: SOUZA (2016). VE= Vegetação Espontânea, AV=Aveia-preta, CE=Centeio, NF=Nabo-Forageiro, CE+NF=Centeio+Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-preta+Nabo-Forageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional.⁽¹⁾Valores referentes a MS plantas de cobertura de inverno e verão. ⁽²⁾Valores referentes a MS de plantas de cobertura de inverno aos 60, 80 e 120 dias após o plantio. ⁽³⁾Valores referentes a MS de Mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) no verão, aos 120 dias. ⁽⁴⁾Valores de MS de Milheto (*Pennisetum glaucum*) durante o verão aos 120 dias.

Ao longo da condução experimental as espécies de inverno foram semeadas a lanço sobre a superfície do solo e, em seguida, uma máquina semeadora de plantio direto de cereais foi passada duas vezes na área para promover uma leve incorporação das sementes no solo. A área experimental não recebeu nenhum tipo de adubação, irrigação ou trato cultural durante o ciclo das plantas de cobertura de inverno, sendo as quantidades de sementes das plantas de cobertura calculadas com base nos valores mais elevados da recomendação de Monegat (1991)

+ 50%. Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada unidade experimental composta de parcelas com 25 m² (5 x 5 m), perfazendo uma área experimental de 1200 m².

Em maio, junho e julho de 2016, o que corresponde a 60, 80 e 120 dias após a semeadura (DAS) das espécies de plantas de cobertura, respectivamente, foram coletadas três sub amostras de biomassa das plantas de cobertura por parcela, usando um quadro de 0,5 x 0,5 m (0,25m²). A biomassa coletada foi seca em estufa com ventilação de ar forçado a 65 °C até peso constante e, logo depois, pesadas para estimar a produção de matéria seca (MS) por hectare (Tabela 1). Após a pesagem, a biomassa colhida retornou a área de estudo. Em novembro de 2016, ao final do ciclo da cultura da cebola, foi realizada manualmente a colheita dos bulbos em seis linhas centrais de cada parcela e os bulbos permaneceram na superfície do solo por 10 dias para a cura (secagem e perda de água das folhas).

As amostras indeformadas foram desagregadas manualmente e peneiradas em peneiras de malha de 8,00 mm e 4,00 mm para obtenção dos agregados do solo (EMBRAPA, 1997). Amostras deformadas foram peneiradas em peneira de 2,00 mm para obter a terra fina seca ao ar e quantificar os teores de Carbono orgânico total (COT). Dos agregados retidos na peneira de 4,00 mm, pesaram-se 25 g, que 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 e 0,053 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 min no aparelho de Yoder (YODER, 1936). Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em placas de Petri previamente pesadas e identificadas e levado à estufa a 105 °C até obter massa seca constante. A partir da massa de agregados foram calculados os índices de agregação diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), segundo a Embrapa (1997). Ainda foi avaliada a distribuição da massa dos agregados nas seguintes classes de diâmetro médio, conforme Costa Jr. et al. (2012): 8,00>Ø≥ 2,0 mm (macroagregados); 2,0>Ø ≥ 0,25 mm (mesoagregados); e Ø <25mm (microagregados).

Parte dos agregados que passaram na peneira de 8,00 mm e ficaram retidos na peneira de 4,00 mm foi separado e, posteriormente, foram macerados e passados na peneira de 2,00 mm para a quantificação dos teores de COT. Os teores de COT foram determinados nos macroagregados (8,00>Ø≥2,0 mm) e no bulk soil (Ø<2,0 mm) segundo a metodologia proposta

por Yeomans & Bremner (1988). Também foi realizada a coleta de amostras deformadas de solo na camada de 0-10 cm de profundidade, com auxílio de um trado calador, as quais foram congeladas para avaliação das frações de glomalina total (GT) e glomalina facilmente extraível (GFE), conforme ensaio de Bradford (1976), modificado por Wright & Upadhyaya (1998). O ensaio consistiu em adicionar 1,0 g de solo em um tubo falcon com capacidade de 15 mL e inserir 8,0 mL de citrato de sódio (50 μ mol), seguido de 1h em autoclave a 121°C. O sobrenadante foi coletado e anotado o volume. O procedimento foi repetido em cada amostra de solo até o sobrenadante apresentar coloração amarelo-claro. Também foi determinado o teor de GFE pela mesma metodologia, no entanto, foi realizado apenas um ciclo de autolavagem de 1h em autoclave a 121°C e anotado o volume.

Os dados foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade pelos testes e Lilliefors e Cochran, respectivamente e submetidos a ANOVA pelo teste F a 5% de probabilidade. Quando significativos, os valores médios dos tratamentos foram submetidos ao teste de Skott-knott a 5% de probabilidade. Para a comparação dos teores de COT entre macrogregados do solo ($8.00 > \emptyset \geq 2.0$ mm) e Terra Final Seca ao ar ($\emptyset < 2.0$ mm) foi realizado a ANOVA de cada tratamento separadamente e os dados comparados, quando significativos, através do teste t-LSD a 5% de probabilidade. Na sequência, realizou-se a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) entre os atributos relacionados a agregação, teores de COT e Glomalina no solo. Os valores das variáveis da mata utilizados nas avaliações foram expressos pela média e intervalo de confiança (MÉDIA \pm IC 95%). Também foi realizada uma análise multivariada com todos os dados obtidos, utilizando-se a análise de componentes principais.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de Carbono Orgânico Total (COT) em agregados do solo ($8.00 > \emptyset \geq 2.0$ mm) e Terra Fina Seca ao Ar ($\emptyset < 2.0$ mm).

Na camada superficial (0-5 cm) do solo, os teores de COT não diferiram entre os tratamentos com e sem uso de plantas de cobertura de inverno para os agregados. Porém, para TFSA, verificaram-se diferenças, sendo os menores valores de COT encontrados no SPC e os maiores no NF e AV+NF. O uso de plantas de cobertura de inverno Aveia-Preta (AV), Centeio (CE), Nabo-Forageiro (NF) e consórcios, proporcionaram incrementos médios de 25% nos

teores de COT em relação ao tratamento SPC, com destaque para o tratamento NF, que proporcionou 15% em relação ao SPC (Tabela 2).

Comparando os teores de COT entre agregados e TFSA de cada tratamento na camada de 0-5 cm, observaram-se maiores teores de COT nos agregados do tratamento CE, com teores 17% superiores às amostras de TFSA (Tabela 2). No tratamento SPC também se verificaram diferenças quando da comparação entre agregados e TFSA, ocorrendo maiores teores de COT nos agregados, sendo os valores 13% superiores.

Em relação à camada de 5-10 cm, novamente o tratamento NF apresentou os maiores teores de COT nos agregados, diferindo dos demais tratamentos, com teores aproximadamente 15% maiores (Tabela 2). Na TFSA, o consórcio de CE+NF apresentou incremento médio de 16% nos teores de COT em relação aos demais tratamentos. Os tratamentos com plantas de cobertura em SPDH nas amostras de TFSA apresentaram, em média, teores de COT 20% superiores àqueles do tratamento SPC. Comparando as amostras de agregados e TFSA, o tratamento com uso de NF, apresentou diferenças com teores de COT 15% superiores nas amostras de agregados do que de TFSA.

Na camada de 10-20 cm, os tratamentos que apresentaram os maiores teores de COT nos agregados do solo foram NF e SPC. Já nas amostras de TFSA os maiores teores foram encontrados nos tratamentos AV, NF e CE+NF (Tabela 2). Comparando as amostras de agregados e TFSA de cada tratamento, apenas o SPC apresentou diferenças, com maiores teores de COT nos agregados, sendo 10% superior àqueles da TFSA.

De maneira geral, os teores de COT no tratamento SPC foram menores na TFSA em comparação com o SPDH, com destaque para a camada superficial do solo. Também se verifica diferenças nos teores de COT entre agregados e TFSA no SPC para as três camadas avaliadas, diferindo do SPDH, que apresentou menores variações entre os teores de COT entre agregados e TFSA nas três camadas avaliadas (Tabela 2). Outro padrão observado nos teores de COT foi que no SPC, os menores valores ocorreram sempre na TFSA em comparação aos agregados. Estudo realizado por Ferreira et al. (2018), avaliando os teores de COT nos agregados e na TFSA em SPD e SPC de cebola, também encontraram menores valores de COT no SPC, principalmente na TFSA. E estes resultados possivelmente são devidos a ruptura dos agregados do solo, o que acelera a decomposição da MOS que estava protegida no interior dos agregados. Isso aumenta a taxa de decomposição da MOS, ocasionando em menores teores de COT na TFSA.

Tabela 2. Teores de COT (g kg^{-1}) em amostras de agregados do solo e TFSA nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em sistemas de manejo com o cultivo de cebola.

Tratamentos	COT (g kg^{-1})								
	-----Camadas-----								
	0-5 cm			5-10 cm			10-20 cm		
	Agregados	TFSA	CV (%)	Agregados	TFSA	CV (%)	Agregados	TFSA	CV (%)
VE	43,89a	43,02b	6,83	37,64b	36,24c	7,06	32,63b	32,94c	5,51
AV	40,73a	41,48b	6,16	34,17c	33,60c	6,85	30,20b	36,61a	1,63
CE	44,59a	38,92c*	6,24	36,77b	36,21c	4,97	32,39b	34,74b	3,33
NF	45,39a	45,48a	3,39	43,83a	39,90b*	2,43	38,54a	39,10a	4,66
CE+NF	44,70a	43,09b	3,09	39,00b*	45,59a	7,95	32,29b	36,42a	3,49
AV+NF	42,71a	45,70a	5,50	38,09b	40,82b*	7,89	32,77b	33,68c	9,27
SPC	39,15a	34,79d*	6,22	40,09b	35,84c*	6,07	37,15a	33,75c*	7,96
CV (%)	5,37	5,56		5,95	6,90		4,89	6,70	
Mata Nativa (IC)	64,58±0,79	60,94*±3,53		52,84*±1,99	60,16±1,51		51,19±1,17	47,64±2,24	

VE= Vegetação Espontânea, AV=Aveia-preta, CE=Centeio, NF=Nabo-Forageiro, CE+NF=Centeio+Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta+Nabo-Forageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional e CV = Coeficiente de variação. Médias de quatro repetições seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Skott-knott a 5% de probabilidade.

*Médias de quatro repetições nas linhas comparando agregados e TFSA mostraram efeitos significativos pelo test t LSD a 5% de probabilidade para comparar teores de COT entre agregados e TFSA. Valores da área de mata foram expressos pela média e intervalo de confiança (MÉDIA±IC 95%).

Os tratamentos com plantas de cobertura mesmo apresentando valores proporcionalmente inferiores de teores de COT àqueles da mata nativa (usada como área referência), foram superiores aos do tratamento SPC na camada superficial do solo. As alterações nos teores de COT no solo e na estabilidade dos agregados podem ser atribuídas ao acúmulo de MS vegetal e a constante presença das espécies de cobertura de verão e inverno, que são responsáveis pelo aumento da atividade dos microrganismos no solo como bactérias e fungos que apresentam mecanismos físicos e bioquímicos determinantes na estruturação do solo (RILLIG & MUMMEY, 2006; ZHAO et al., 2018).

Teores de COT superiores nos tratamentos com uso de Nabo-Forageiro (NF) solteiro e consorciado com Aveia-Preta (AV) e Centeio (CE) podem ser atribuídos à sua decomposição no solo, aos atributos funcionais dessas plantas (C/N), que promove uma disponibilização lenta e gradual de nutrientes (CRUSCIOL et al., 2005; DONEDA et al., 2012). Estudos com uso de NF como espécie de cobertura vegetal no solo na mesma área experimental deste estudo mostraram efeitos positivos quanto ao acúmulo e liberação de nutrientes (SOUZA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016), devido seu rápido crescimento inicial, produção de MS (Tabela 1) e uma maior ramificação da parte aérea (LIMA et al., 2007). De acordo com Comin et al. (2018a), o uso de gramíneas de inverno (CE e AV) em sucessão ou rotação com milho em SPDH de cebola pode aumentar os teores de COT do solo nas camadas superficiais do solo (0-5 cm), fato também verificado no presente estudo (Tabela 2).

A AV e o CE, são espécies que possuem alto perfilhamento e um sistema radicular profundo e fasciculado o que permite a absorção de água e nutrientes nas camadas mais profundas no solo (SOUZA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016), influenciando os maiores teores de COT nesses tratamentos. Também por serem espécies que produziram grande quantidade de MS vegetal (Tabela 1), são espécies que possuem maior teor inicial de lignina e valores das relações C/N e Lig/N, e fornecem resíduos que permanecem por mais tempo na superfície do solo, o que influencia na redução da incidência de plantas espontâneas e consequente competição com as plantas de cebola (OLIVEIRA et al., 2016).

Os maiores valores de COT no tratamento SPC encontrados nos agregados na profundidade de 10-20 cm podem ser atribuídos ao uso do milho como planta de cobertura que ajudou a manter os teores de COT semelhantes àqueles do SPDH. Essa planta apresenta decomposição lenta em virtude de sua alta relação C/N nas fases de emborrachamento e florescimento (KLIEMANN et al., 2006), e uma alta capacidade de produzir biomassa vegetal, tendo valores de matéria seca de 9,65 t ha⁻¹ no estágio de pleno florescimento e 14,18 t ha⁻¹ aos 100 dias após a semeadura (OLIVEIRA et al., 2002; TEIXEIRA et al. 2005).

Índices de agregação: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e distribuição de agregados por classes de diâmetro

Verificou-se uma importante relação entre os teores de COT (Tabela 2) com a estabilidade dos agregados do solo (Tabela 3 e Figura 2) em função do uso do SPDH associado a plantas de cobertura como leguminosas e gramíneas, como também foi verificado por Loss et al. (2017) e Ferreira et al. (2018). Ao longo dos oito anos de condução experimental, cada um dos tratamentos com uso de diferentes espécies de plantas de cobertura no SPDH e SPC de cebola adicionou diferentes quantidades de resíduos vegetais ao solo (Tabela 1).

O uso de AV, CE solteiros e em consórcio com NF durante o inverno, e os maiores incrementos de mucuna-preta durante o verão influenciaram positivamente na agregação do solo. Espécies como a Aveia-Preta e o Centeio, por apresentarem um sistema radicular fasciculado, contribuem para o efeito de compressão do solo, na medida em que ocorre o desenvolvimento de suas raízes. O Nabo-Forageiro, por meio de seus aspectos químicos promovido pelo seu sistema radicular pivotante e denso, contribui para melhor distribuição dos exsudatos radiculares no solo (CASALI, 2012). No entanto, o uso da mucuna-preta, durante o verão em todos os tratamentos produziu grandes quantidade de MS contribuindo para a adição de nutrientes no solo. O tratamento vegetação espontânea, compõe uma diversidade de 20 espécies botânicas que por sua vez também favorecem os atributos físicos. No entanto, as práticas de manejo promovidas no SPC, influenciam negativamente na atividade física do solo (LOSS et al., 2015).

Verificou-se na camada superficial (0-5 cm) que em todos os tratamentos do SPDH com uso de plantas de cobertura de inverno e, mesmo aquele com vegetação espontânea (VE), os valores médios de DMP e DMG foram 20% superiores em relação ao SPC e aproximadamente 22% superiores àqueles da mata nativa (Tabela 3). Estes dados corroboram com os valores referentes à massa dos agregados estáveis em água nas mesmas profundidades, onde os tratamentos com uso de plantas de cobertura de inverno apresentaram os maiores valores de massa de macroagregados. Verificou-se que o uso de plantas de cobertura aumentou, em média 13%, a massa de macroagregados em relação ao SPC, o qual foi o tratamento que apresentou os menores valores de massa de macroagregados nas camadas do solo de 0-5 e 5-10 cm (Figura 2a).

A dinâmica do COT no solo também tem influência direta no tamanho e na distribuição dos agregados do solo, que são significativamente afetados pelas mudanças do sistema de

manejo (LI et al., 2018). A presença de diferentes espécies de plantas de cobertura, como Centeio, Aveia-Preta, Milheto, pode influenciar positivamente nestas mudanças por serem espécies que produzem grandes quantidades de MS, pela alta eficiência que possuem ao realizar a ciclagem de nutrientes e também por apresentarem sistemas radiculares densos, fasciculados e com capacidade de explorar camadas mais profundas do perfil do solo (CALEGARI, 2008; LIMA FILHO et al., 2014). Este padrão pode ser observado nos tratamentos em SPDH, os quais apresentam maiores teores de COT (Tabela 1) e maiores valores de DMP, DMG e massa de macroagregados na camada superficial do solo (Tabela 2, Figura 2a) em comparação ao SPC, que não apresenta a presença de plantas de cobertura de inverno.

Tabela 3. Índices de Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio Geométrico (DMG) do solo nas profundidades de 0-5,5-10 e 10-20 cm em SPDH de cebola, Ituporanga (SC).

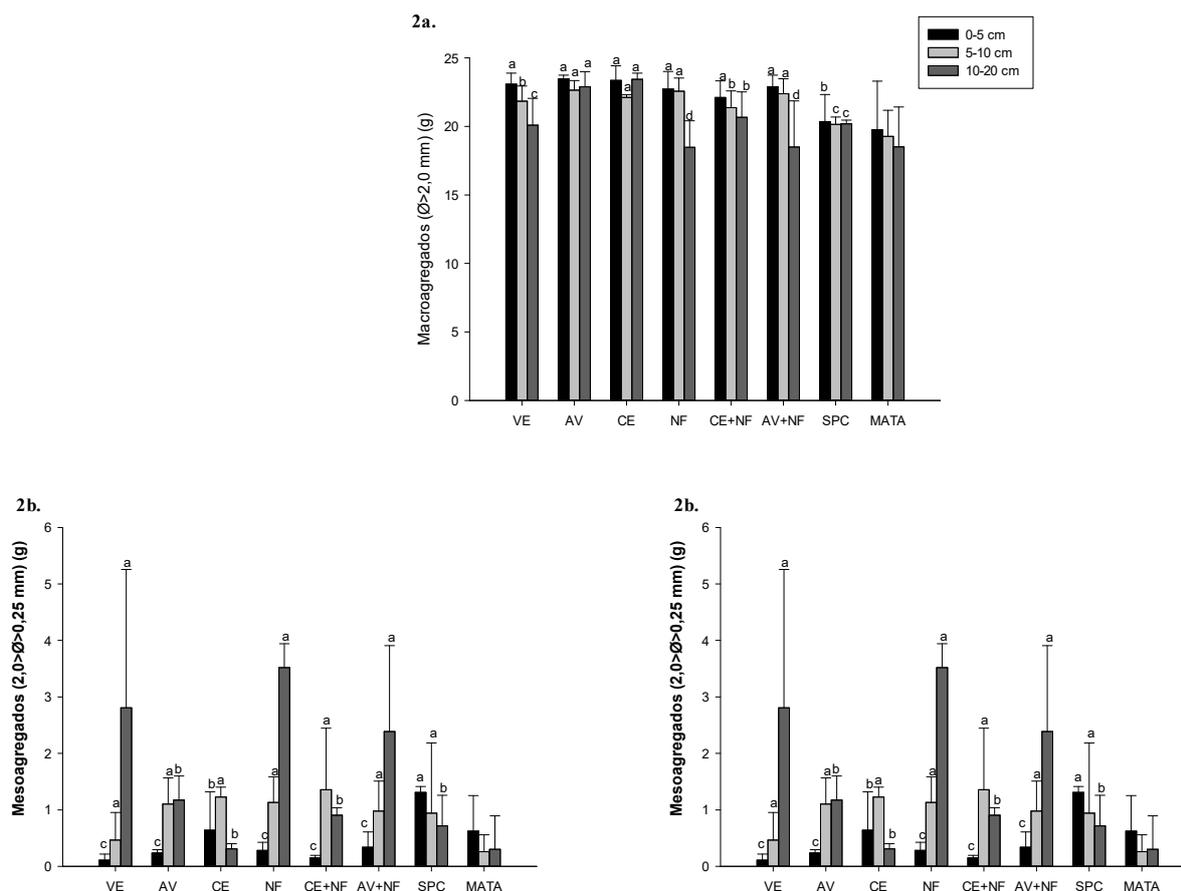
Tratamentos	DMP			DMG		
	-----Camadas (cm)-----					
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
VE	4,80a	4,58a	4,27b	4,23a	3,72b	3,13c
AV	4,85a	4,80a	4,79a	4,59a	4,45a	4,44a
CE	4,84a	4,74a	4,89a	4,39a	4,20a	4,68a
NF	4,60a	4,66a	4,17b	4,20a	4,22a	2,85c
CE+NF	4,76a	4,41b	4,33b	3,98a	3,32b	2,88c
AV+NF	4,74a	4,65a	3,98b	4,15a	3,98a	2,95c
SPC	4,46b	4,43b	4,41b	3,45b	3,19b	3,52b
CV (%)	2,74	3,20	4,33	8,40	9,21	6,70
Mata Nativa	4,62± 0,06	4,63± 0,06	4,39± 0,15	3,80± 0,21	3,80± 0,17	3,05± 0,46

VE= Vegetação Espontânea, AV=Aveia-preta, CE=Centeio, NF=Nabo-Forageiro, C+NF=Centeio+Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta+Nabo-Forageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional e CV = Coeficiente de variação. Médias de quatro repetições seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Skott-knott a 5% de probabilidade. Valores da área de mata foram expressos pela média e intervalo de confiança (MÉDIA±IC 95%).

A decomposição de plantas de cobertura solteiras e consorciadas em SPDH de cebola também possui a capacidade de influenciar na liberação de exsudatos, conhecidos como polissacarídeos, que são substâncias cimentantes. Estas substâncias são responsáveis por estabilizar as partículas de solo, que também são enoveladas pelas hifas fúngicas e raízes das plantas de cobertura, além de contribuírem com o aumento da atividade microbiana do solo, principalmente dos FMAs (RILLIG & MUMMEY, 2006). Assim, a atividade da biota do solo

afeta a estrutura do solo com consequente aumento nos índices DMP e DMG (GRIMALDI et al., 2003; TISDALL & OADES, 1982).

Figura 2. Distribuição da massa de macroagregados ($8,00 < \varnothing \geq 2,0$ mm), mesoagregados ($2,0 > \varnothing \geq 0,25$ mm) e microagregados ($\varnothing < 0,25$ mm) estáveis em água em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola, nas camadas de 0-5, 5-0 e 10-20 cm.



VE= Vegetação Espontânea, AV=Aveia-preta, CE=Centeio, NF=Nabo-Forrageiro, C+NF=Centeio+Nabo-Forrageiro, AV+NF= Aveia-Preta+Nabo-Forrageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional. Figura 2a. macroagregados ($8,00 < \varnothing \geq 2,0$ mm), Figura 2b. Mesoagregados ($2,0 > \varnothing \geq 0,25$ mm) e Figura 2c. Microagregados ($\varnothing < 0,25$ mm) estáveis em água em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola, nas profundidades de 0-5, 5-0 e 10-20 cm. Médias de quatro repetições seguidas de mesma letra, entre sistemas de uso do solo para cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Skott-knott a 5% de probabilidade. Valores da área de mata são expressos pela média e intervalo de confiança (MÉDIA \pm IC 95%).

Na camada de 10-20 cm (Tabela 2), os maiores índices de DMP e DMG foram encontrados nos tratamentos AV e CE, sendo estes em média 25% e 35% superiores aos do SPC e da mata nativa, respectivamente. Estes dados corroboram com a distribuição da massa de microagregados do solo ($\varnothing < 0,25$ mm) (Figura 2b), que em todas as profundidades avaliadas, nos tratamentos AV (0,33g) e CE (0,16g a 0,30g) observaram-se os menores valores, seguido

pelo tratamento AV+NF (1,27g a 1,34g). Têm sido demonstrados que gramíneas, como a Aveia-Preta, por apresentarem maior densidade de raízes podem atingir de até 0,76m m e melhor distribuição do sistema radicular do solo, favorecem a união de partículas minerais (argila, silte e areia do solo) e promovem a formação de agregados estáveis, o mesmo pode ser observado com plantas de Centeio, pois são espécies que possuem capacidade de atingir até 1,22m (WEAVER, 1926).

As práticas de manejo utilizadas no SPC proporcionaram os maiores valores da massa de microagregados ($\emptyset < 0,25$ mm) (Figura 2b), na camada de 0-5 cm, sendo aproximadamente 75% superiores aos valores obtidos nos tratamentos sob SPDH com uso de plantas de cobertura de inverno. O tratamento VE nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm apresentou valores de massa de microagregados ($\emptyset < 0,25$ mm) maiores em todas as profundidades em relação aos tratamentos do SPDH (AV, CE e AV+NF), isso pode estar atribuído ao sistema radicular das espécies presentes nesse tratamento, que diferentemente de espécies como a Aveia-Preta e o Centeio, que apresentam sistemas radiculares fasciculado, a maior parte das espécies espontâneas apresenta um sistema radicular superficial. Verificou-se que os valores de massa de macro, meso e microagregados foram semelhantes nos tratamentos com uso de plantas de cobertura no SPDH em relação ao SPC, evidenciando o papel das plantas de cobertura na melhoria das condições de agregação do solo em SPDH de cebola, corroborando com resultados obtidos por LOSS et al. (2017).

Por outro lado, o predomínio de agregados de menor diâmetro no tratamento SPC (Figura 2) pode ser atribuído às práticas de revolvimento do solo. Comparando atributos físicos na mesma área do presente estudo após cinco anos de implantação do SPDH, LOSS et al. (2017) constataram aumento dos índices de agregação do solo superiores nos tratamentos sob SPDH em relação ao SPC. Além disso, o revolvimento restrito do solo no SPDH preserva as hifas fúngicas e favorece a formação e a distribuição dos macroagregados do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes e retenção de água no solo (WRIGHT et al., 2003; WRIGHT & UPADHYAYA, 1998).

Os tratamentos com consórcio de espécies de cobertura por possuírem diferentes sistemas radiculares também criam um ambiente favorável à formação e a manutenção dos agregados do solo (LOSS et al., 2017; COMIN et al., 2018a; FERREIRA et al., 2018), influenciado nos índices de DMP e DMG, o que reflete positivamente nos teores de COT (Tabela 2), além do efeito decorrente de sua elevada produção de MS vegetal (Tabela 1). Porém, em profundidade (10-20 cm), para este estudo verificou-se melhor resultado na agregação do

solo para os tratamentos solteiros (AV e CE) do que quando esses foram consorciados com o NF.

Este resultado pode ser decorrente da presença da matéria seca destas espécies na superfície do solo e da rizo deposição que protegem contra os impactos da chuva, consequentemente diminuem a perda de solo, água e nutrientes através do escoamento superficial (BUSARI et al., 2015). Oliveira et al. (2016) verificaram que a presença destas espécies influencia na ciclagem dos nutrientes no solo, uma vez que esta matéria seca em decomposição promove a liberação lenta de nutrientes.

Frações de Glomalina Total (GT) e Glomalina facilmente-extraível (GFE)

Ao avaliar a camada superficial do solo de 0-10 cm (Tabela 4), pode-se observar que o uso de plantas de cobertura solteiras (AV, CE e NF), consorciadas (AV+NF e CE+NF) ou apenas a presença de plantas espontâneas (VE) influencia positivamente as frações de glomalina no solo no SPDH de cebola, pois os valores foram todos superiores no SPDH em comparação ao SPC, e foram semelhantes aos encontrados na área da mata secundária. As frações de glomalina no solo dependem de vários fatores, incluindo a ocorrência dos FMAs, a composição das comunidades de plantas, propriedades do solo e o manejo empregado, confirmando a correlação positiva destas frações com os maiores teores de COT no solo (Tabela 2, 0-5 cm) e os índices de agregação (Tabela 3, 0-5 cm) e massa de macroagregados (Figura 2a).

A Glomalina Total (GT) representa a quantidade total de proteína no solo, tanto na superfície como no interior dos agregados (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998). Neste estudo, os teores de GT variaram nos tratamentos com uso de plantas de cobertura de 209,43 µg/g a 245,39 µg/g, valores 84,08% superiores aos do tratamento SPC (125,88 µg/g). Apesar de não obter diferenças estatísticas, os menores valores de GT e GFE encontrados no tratamento VE, podem estar associados a menor proporção de material vegetal que as espécies espontâneas que se encontram neste tratamento produzem (Tabela 1), que também influenciaram nos menores índices de DMG e macroagregados do solo, quando comparado aos tratamentos AV e CE.

O tratamento AV mesmo não diferindo estatisticamente quando comparado ao SPC, apresentou os maiores valores de GT e GFE respectivamente, 84% e 60% superiores que o tratamento SPC. Esse resultado pode estar relacionado ao sistema radicular fasciculado da AV, que favorece a relação simbiótica com os FMAs e, consequentemente, o aumento da deposição de glomalina (RILLIG & MUMMEY, 2006). Estudos mostram que o uso de plantas de

cobertura favorece a atividade microbiológica e a produção de propágulos de FMAs, responsáveis pela produção de glomalina (WRIGHT *et al.*, 2007).

Tabela 4. Teores de Glomalina Total (GT) e Glomalina facilmente-extraível (GFE) na camada de 0-10 cm do solo em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola em Ituporanga, SC.

Tratamentos	GT	GFE
	-----($\mu\text{g/g}$)-----	
VE	209,43a	54,24a
AV	245,39a	65,91a
CE	231,28a	58,91a
NF	230,93a	58,99a
AV+NF	241,90a	61,32a
CE+NF	231,46a	58,60a
SPC	125,88b	34,03b
CV (%)	12,64	13,12
Mata Nativa	234,21 \pm 3,15	64,12 \pm 2,10

VE= Vegetação Espontânea, AV=Aveia-Preta, CE=Centeio, NF=Nabo-Forageiro, C+NF=Centeio+Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta+Nabo-Forageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional e CV = Coeficiente de variação. Médias de quatro repetições seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Skott-knott a 5% de probabilidade. Valores da área de mata foram expressos pela média e intervalo de confiança (MÉDIA \pm IC 95%).

Os menores teores de GT e GFE no SPC podem estar relacionados às alterações ambientais promovidas neste sistema de cultivo (Tabela 4). Sistemas de manejo que promoverem uso de mecanização intensiva, agroquímicos e variedades melhoradas desfavorecem a população de FMAs no solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). O SPC, por promover estas práticas, promovem quebra dos agregados e rompimento do micélio, expondo os propágulos dos FMAs a oxidação inviabilizando-os e influenciando na redução da colonização micorrízica (SCHNEIDER *et al.*, 2011).

Em relação aos teores de GFE, que no solo representa a proteína mais recentemente produzida e também mais sujeito à decomposição por estar concentrada na superfície dos agregados (WRIGHT & UPAYAYA, 1998), os tratamentos com uso de plantas de cobertura também apresentaram valores superiores, que variaram de 65,91 $\mu\text{g/g}$ a 58,60 $\mu\text{g/g}$, representando valores 60% superiores aos encontrados no tratamento SPC, que foi de 34,03 $\mu\text{g/g}$.

Através da análise de correlação dos teores de GT e GFE com os atributos físicos foi possível constatar correlações positivas ($r > 0,60$). Isso demonstra a influência das plantas de cobertura nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm) quanto aos teores de GT e seus efeitos na distribuição da massa de macroagregados ($r=0,63$ e $r=0,63$) na camada de 0-5 cm e GFE na camada de 5-10 cm ($r= 0,61$ e $r=0,62$). Também foi possível observar uma significativa correlação dos teores de GT e GFE com a massa de mesoagregados do solo na camada de 0-5 cm ($r=0,63$ e $r=0,66$). Estes dados corroboram com o estudo realizado por Wright & Upadhyaya (1998), que também verificaram alta correlação dos teores de glomalina com a estabilidade de agregados, confirmando a contribuição desta proteína na atividade física do solo.

Assim, o aumento da compreensão dos fatores que controlam a produção das frações de GT e GFE são importantes para definir as estratégias de manejo para a melhoria da estruturação do solo e, conseqüente, aumento de produtividade e diminuição de impactos ambientais em sistemas de produção agrícola.

Análise de componentes principais (CP) das variáveis analisadas sob sistemas de uso do solo com cultivo de cebola

Por meio da análise multivariada de componentes principais foi possível explicar 51,77% das variâncias com os dois componentes mais importantes (CP1 e CP2) (Tabela 5). O primeiro componente (CP1) explicou 31,71% da variabilidade dos atributos do solo. Esse componente ordena os atributos físicos do solo que apresentaram os maiores valores de correlação com os componentes principais, como DMP, DMG, Macro e Microagregados (nas três camadas avaliadas), e o atributo químico COT nas amostras de agregados do solo na camada de 10-20 cm (COT20 agreg). O segundo componente (CP2) explicou 20,07% da variabilidade acumulada. No CP2 foi possível observar destaque do atributo químico COT, tanto em amostras de agregados quanto em amostras de TFSA, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (COT5, COT10, COT5agreg, COT10agreg) (Tabela 5). Também no CP2 foi possível destacar os atributos físicos DMP e DMG, na camada de 10-20 cm (DMP20, DMG20), e macroagregados na camada de 10-20 cm (Macro20), mesoagregados nas camadas de 5-10 e 10-20 cm (Meso10 e Meso20) e microagregados na camada de 10-20 (Micro20), e atributos microbiológicos, sendo Glomalina total e facilmente extraível (GLOTotal e GLOFE).

Tabela 5. Análise de componentes principais (CP) das variáveis analisadas sob sistemas de uso do solo com cultivo de cebola.

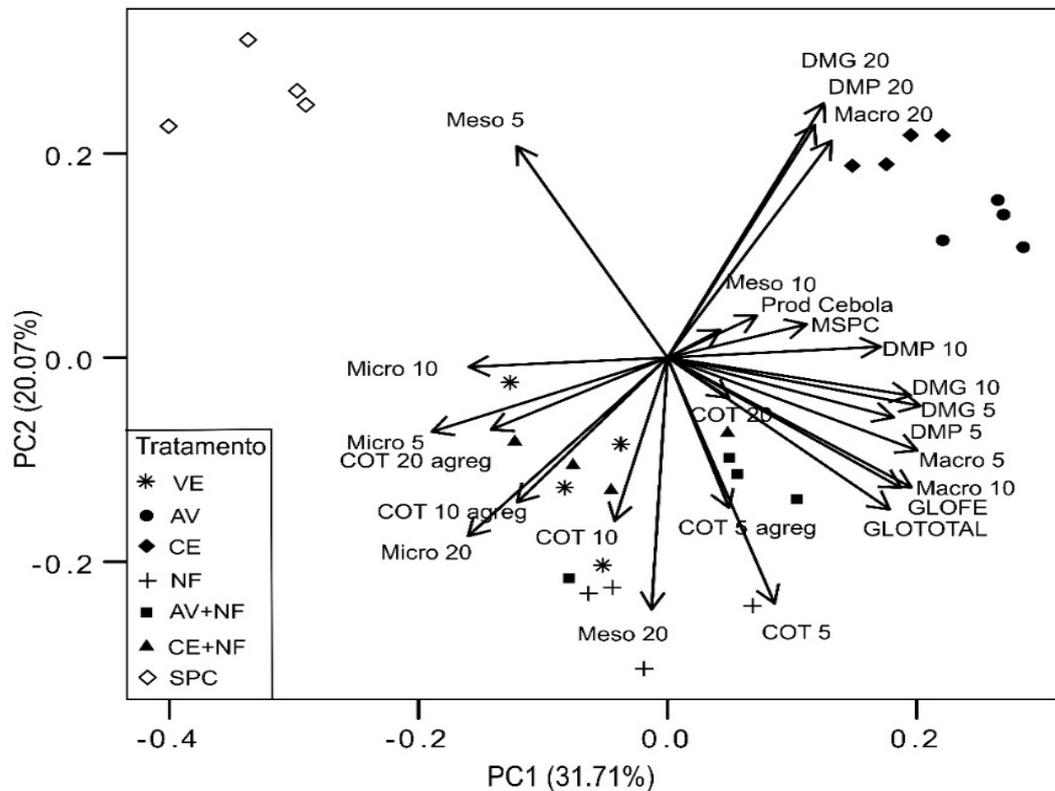
Componentes da Variância	CP1	CP2
Autovalores	7,93	5,02
Variância Total (%)	31,71	20,07
Variância Acumulada (%)	31,71	51,77
Correlação com os Componentes Principais		
Rendimento Cebola	0,10	0,06
MS plantas de Cobertura	0,16	0,05
COT5	0,12	-0,34
COT10	0,06	-0,23
COT20	0,07	-0,06
COT5agreg	0,07	-0,21
COT10agreg	-0,17	-0,20
COT20agreg	-0,20	-0,10
DMP5	0,26	-0,08
DMP10	0,24	0,02
DMP20	0,17	0,32
DMG5	0,29	-0,07
DMG10	0,28	-0,05
DMG20	0,18	0,35
Macro5	0,28	-0,13
Macro10	0,28	-0,18
Macro20	0,19	0,30
Meso5	-0,17	0,29
Meso10	0,06	0,04
Meso20	-0,02	-0,35
Micro5	-0,27	-0,10
Micro10	-0,22	-0,01
Micro20	-0,23	-0,25
GLOTtotal	0,25	-0,21
GLOFE	0,26	-0,18

COT5: Carbono Orgânico Total na profundidade de 0-5 cm, COT10: Carbono Orgânico Total na profundidade de 5-10 cm, COT20: Carbono Orgânico Total na profundidade de 10-20 cm, COT5agreg: Carbono Orgânico Total na profundidade de 0-5 cm, COT10agreg: Carbono Orgânico Total na profundidade de 5-10 cm, COT20agreg: Carbono Orgânico Total na profundidade de 10-20 cm, DMP5:Diâmetro Médio Ponderado na profundidade de 0-5 cm, DMP10:Diâmetro Médio Ponderado na profundidade de 5-10 cm, DMP20:Diâmetro Médio Ponderado na profundidade de 10-20 cm, DMG5: Diâmetro Médio Geométrico na profundidade 0-5 cm, DMG10: Diâmetro Médio Geométrico na profundidade 5-10 cm, DMG20: Diâmetro Médio Geométrico na profundidade 10-20 cm, Macro5:Macroagregados na profundidade de 0-5 cm, Macro10:Macroagregados na profundidade de 5-10 cm, Macro20:Macroagregados na profundidade de 10-20 cm,Meso5:Mesoagregados na profundidade de 0-5 cm, Meso10:Mesoagregados na profundidade de 5-10 cm, Meso20: Mesoagregados na profundidade de 10-20 cm, Micro5:Microagregados na profundidade de 0-5 cm, Micro10:Microagregados na profundidade de 5-10 cm, Micro20:Microagregados na profundidade de 10-20 cm, GLTotal:Glomalina Total, GLOFE: Glomalina facilmente extraível.

Por meio do diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais (ACP) dos dados coletados dos diferentes tratamentos (Figura 3) foi possível constatar a disposição de três diferentes grupos, sendo verificado a formação de dois grupos com tratamentos relacionados ao SPDH (AV e CE; VE, NF e consórcios) e a separação do SPC. Foi possível avaliar o efeito positivo do uso de plantas de cobertura nos atributos físicos do solo DMG20 e DMP20, Micro5, Micro10 e Micro20 e Meso20 e nos teores de COT nas amostras de agregados e TFSA em todas as camadas avaliadas.

A variável Meso 5 é a mais que se aproxima do SPC, mostrando forte atuação (correlação de 0,29 no CP2, Tabela 5) na separação do SPC dos demais tratamentos. Isto evidencia que o SPC favoreceu o aumento de mesoagregados, o que pode ser observado na Figura 2B, onde os maiores valores de mesoagregados na camada superficial foram encontrados no SPC. Em oposição ao SPC, no diagrama, têm-se as variáveis DMG5, DMG10, DMP5, Macro5, Macro10, GLOFE, GLOTOTAL, COT5 e COT10. Isto significa que estas variáveis foram afetadas negativamente pelo SPC, e isto pode ser verificado na Tabela 2, onde o SPC apresentou os menores teores de COT, na Tabela 3, onde o SPC apresentou os menores valores de DMP e DMG, na Figura 2a, onde o SPC apresentou menores massas de Macroagregados e na Tabela 4, onde o SPC apresentou menores valores de GT e GFE.

Figura 3. Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados dos tratamentos no SPDH e SPC de cebola.



VE= Vegetação Espontânea, AV=Aveia-Preta, CE=Centeio, NF=Nabo-Forageiro, C+NF=Centeio+Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta+Nabo-Forageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional. COT5: Carbono Orgânico Total na profundidade de 0-5 cm, COT10: Carbono Orgânico Total na profundidade de 5-10 cm, COT20: Carbono Orgânico Total na profundidade de 10-20 cm, COT5agreg: Carbono Orgânico Total na profundidade de 0-5 cm, COT10agreg: Carbono Orgânico Total na profundidade de 5-10 cm, COT20agreg: Carbono Orgânico Total na profundidade de 10-20 cm, DMP5:Diâmetro Médio Ponderado na profundidade de 0-5 cm, DMP10:Diâmetro Médio Ponderado na profundidade de 5-10 cm, DMP20:Diâmetro Médio Ponderado na profundidade de 10-20 cm, DMG5: Diâmetro Médio Geométrico na profundidade 0-5 cm, DMG10: Diâmetro Médio Geométrico na profundidade 5-10 cm, DMG20: Diâmetro Médio Geométrico na profundidade 10-20 cm, Macro5:Macroagregados na profundidade de 0-5 cm, Macro10:Macroagregados na profundidade de 5-10 cm, Macro20:Macroagregados na profundidade de 10-20 cm, Meso5:Mesoagregados na profundidade de 0-5 cm, Meso10:Mesoagregados na profundidade de 5-10 cm, Meso20: Mesoagregados na profundidade de 10-20 cm, Micro5:Microagregados na profundidade de 0-5 cm, Micro10:Microagregados na profundidade de 5-10 cm, Micro20:Microagregados na profundidade de 10-20 cm, GLOTotal: Glomalina Total, GLOFE: Glomalina facilmente extraível.

A variável Meso 5 é a mais que se aproxima do SPC, mostrando forte atuação (correlação de 0,29 no CP2, Tabela 5) na separação do SPC dos demais tratamentos. Isto evidencia que o SPC favoreceu o aumento de mesoagregados, o que pode ser observado na Figura 2B, onde os maiores valores de mesoagregados na camada superficial foram encontrados no SPC. Em oposição ao SPC, no diagrama, têm-se as variáveis DMG5, DMG10, DMP5, Macro5, Macro10, GLOFE, GLOTOTAL, COT5 e COT10. Isto significa que estas variáveis foram afetadas negativamente pelo SPC, e isto pode ser verificado na Tabela 2, onde o SPC apresentou os menores teores de COT, na Tabela 3, onde o SPC apresentou os menores valores de DMP e DMG, na Figura 2a, onde o SPC apresentou menores massas de Macroagregados e na Tabela 4, onde o SPC apresentou menores valores de GT e GFE.

Os tratamentos AV e CE foram separados dos demais pela atuação das variáveis DMP, DMG e Macro (10-20 cm), Meso10, DMP10 e produção de cebola. Este grupo está em oposição aos demais tratamentos (VE, AV+NF, NF e CE+NF), os quais estão separados por meio das variáveis COT, meso e microagregados (Figura 5). Esses resultados evidenciam o papel das plantas de cobertura no favorecimento dos atributos físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo, que são importantes indicadores da formação e estabilidade de agregados do solo, bem como dos atributos químicos do solo. E corrobora com os resultados evidenciados na Tabela 3 e Figura 2a, onde há maiores DMP e DMG e a massa de macroagregados para os tratamentos com somente gramíneas (AV e CE) na camada de 10-20 cm.

Estes dados corroboram com os encontrados por Loss et al. (2017) que observaram maiores teores de COT em camadas superficiais, demonstrando que o SPDH de cebola promove melhorias nos teores de MOS, com consequente melhoria nos atributos físicos do solo. Pois o COT permanece protegido no interior dos macroagregados do solo através da união dos microagregados, diferentemente do SPC em que as práticas de manejo expõem o COT aos processos de degradação, por conta da quebra dos agregados em estruturas menores (microagregados) e mesmo rompimento de microagregados em partículas dispersas, expondo este COT que antes estava protegido da degradação pelos microrganismos do solo (Tivet et al., 2013).

Loss et al. (2015), avaliando SPDH e SPC de cebola por meio de uma análise de verificaram uma separação entre o SPDH com uso de diferentes espécies de plantas de cobertura e SPC, mostrando que o SPDH favoreceu os processos químicos e físicos que influenciam na formação e estabilidade dos agregados, entre estes nos macroagregados do solo e nos maiores índices de DMP e DMG. Os valores médios de MS de plantas de cobertura avaliadas no SPDH,

durante os oito anos de condução experimental, constataram influência positiva nos atributos relacionados a agregação, teores de COT no solo e na produtividade de cebola neste sistema, com valores 8% superiores quando comparado ao SPC (Tabela 1).

5.4 CONCLUSÕES

Ao longo de oito anos de condução do SPDH de cebola, o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura influencia positivamente os atributos relacionados à agregação do solo em relação ao SPC.

O uso de plantas de cobertura como a Aveia-Preta, Centeio e o consórcio destas com Nabo-Forageiro favorecem a maior estabilidade de agregados na camada superficial do solo. Os tratamentos com uso de Aveia-Preta e Centeio proporcionam melhorias na formação de macroagregados em camadas mais profundas do solo.

O uso de Nabo-Forageiro solteiro e consorciado com Aveia-Preta propicia aumentos nos teores de carbono orgânico total do solo em SPDH de cebola. Adicionalmente, a adoção de Aveia-Preta como planta de cobertura aumentou os teores de glomalina total 84% e glomalina facilmente extraível 60% nas camadas superficiais, com contribuição direta sobre a agregação do solo quando comparado ao SPC.

Por meio da ACP foi possível evidenciar o efeito negativo do SPC em comparação ao SPDH. A ACP também permitiu a separação dos tratamentos em SPDH, sendo que os tratamentos AV e CE se diferenciaram dos demais tratamentos.

Após 8 anos de SPDH, os tratamentos solteiros com gramíneas aumentam o DMP e DMG na camada de 10-20 cm quando comparado ao SPC e influenciaram nos maiores valores de agregação nesses tratamentos.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M.A.; LANA M.A.; BITTENCOUT, H.V, KIELING A.S, COMIN J.J, LOVATO P.E. Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. J. **Sustainable Agriculture**. v.35, p.1-15, 2011.

BRAIDA, J.A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O.K.et al.(Org.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.VII, p.222-227, 2011.

BRENNAN, E.B.; SMITH, L. F. O.F; AMBROSANO, E.J.; ROSSI F.; CARLOS, J.A.D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa; 2014. v.1, R.F. Winter cover crop growth and weed suppression on the central coast of California. **Weed Technology**, v.19, n.4, p. 1017–1024, 2005.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J. L.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. Effect of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 88, n. 1-2, p. 253-261, 2006.

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.

CASALI C.A. Sistemas de culturas sob diferentes manejos em longa duração alteram as formas de fósforo do solo [tese]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3340>

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B. da; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: Costa, M. B. B. dá (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, p. 1-56, 1993.

COMIN, J. J. ; FERREIRA, L. B. ; SANTOS, L. H. ; KOUCHER, L. P. ; MACHADO, L. N. ; SANTOS, E. ; MAFRA, A. L. ; KURTZ, C. ; SOUZA, M. ; BRUNETTO, G. ; LOSS, A. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil & Tillage Research**, v. 184, p. 195-202, 2018(a).

COMIN, J. J. ; VILLANOVA, C. C. ; KURTZ, C. ; JÚNIOR, V. M. ; VENTURA, B. ; REIS, M. S.; BRUNETTO, G. ; LOVATTO, P. E. ; SOUZA, M. . Avaliação fitossociológica de plantas invasoras em cultivo de cebola sob sistema plantio direto sem uso de agrotóxicos. **Revista de La Facultad de Agronomía (La Plata)** v. 117, p. 197-206, 2018(b).

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M.C.; NETO, M.S.; CAMARGO, P.B.; 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**. 2012.

CRUSCIOL C.A.C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.2, p.161-168, 2005.

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**, v.36, p.1714-1723, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de Métodos de análise de solo**. 2ªed. (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Rio de Janeiro) 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ªed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312p. 2006.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - **Epagri. Sistema de produção para cebola: Santa Catarina** (4ª revisão). Florianópolis: 2013.

EPAGRI/CEPA – **Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. Cebola**. Florianópolis: 2017. Epagri, Boletim Agropecuário nº 50 – 15 de julho de 2017. p. 31-33.

FERNANDEZ, R.; QUIROGA A.; ZORATI, C.; NOELLEMAYER, E. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. **Soil & Tillage Research**, 109:103-109, 2010.

FERREIRA, L. B. ; LOSS, A. ; GIUMBELLI, L. D. ; VENTURA, B. ; SOUZA, M. ; MAFRA, A. L. ; KURTZ, C. ; COMIN, J. J. ; BRUNETTO, G. . Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil e Tillage Research**, p. 1-10, 2018.

FOKOM, R.; ADAMOU, S.; TEUTWA, M.C.; BEGOUDE A.D.; BOYOGUENO W.L.; NANA, W.L.; NGONKEYU, M.E.L.; TCHAMENI, N.S.; NWAGA,D.; TSALA, G., ZOLLO ,P.H.A. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid Forest zone of south Cameroon. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 120, p. 69-75, 2012.

GOMES, A. S.; SILVA, C.A.S.; PARFIT, J.M.B.; PAULETO, E.A.; PINTO, L.F.S. Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2006. 40 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 169).

GRIMALDI, M.; SCHROTH, G.; TEIXEIRA, W.; HUWE, B. Soil Structure. In: SCHROTH, G.; SINCLAIR, F. L. (Ed.). *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*. **Trowbridge: CABI Publishing**, p. 191-208, 2003.

JÚNIOR, V. M. ; COMIN, J. J. ; KOUCHER, L. P. ; BRUNETTO, G. ; LOVATO, P. E. ; SOUZA, M. ; LIMA, A. P. ; KURTZ, C. ; COUTO, R. R. ; GIACOMINI, S. J. Nitrous Oxide Emissions in No-Tillage Onion (*Allium cepa L.*) Crops Are Increased by Oilseed Radish Cover Crop and Poultry Manure Application. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo (ONLINE)**, v. 43, p. 1-13, 2019.

KLIEMANN, J.H.; BRAZ, A.J.P.B; SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. **Pesquisa Agropecuaria Tropical** ,v 36, p. 21- 28. 2006

LI, F.; XUE, C.; QIU, P.; LIU, Y.; SHI,J.; SHEN, B.; YANG, X.; SHEN, Q. Soil aggregate size mediates the responses of microbial communities to crop rotation. **European Journal of Soil Biology**, v.88, p.48-56, 2018.

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

LOSS, A.; JUNIOR, E. D. S.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M. D.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Soil physical attributes of onion cultivation under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, 11(1), 105-113, 2017.

MADEIRA, N. R.; OLIVEIRA V. R.; HAMERSCHMIDT, I. **Cultivo da Cebola em Sistema de Plantio Direto**. Curitiba: Instituto EMATER, 2013.

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

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729p.

NICHOLS, K. A.; WRIGHT, S. F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, v. 170, n. 12, p. 985-997, 2005.

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J.;MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1079-1087, 2002.

OLIVEIRA, R. A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KURTZ, C.; MULLER, V. M.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura e seus efeitos em atributos químicos do solo e produtividade da cebola. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 40, p.1-17, 2016.

PANACHUCKI, E.; BERTTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S. DE; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n.5, p. 1777–1786, 2011.

RILLIG M.C.; MUMMEY D.L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytol**. 2006; 171:41-53.

ROUMET, C.; URCELAY, C.; DÍAS, S. Suites of root traits differ between annual and perennial species growing in the field. **New Phytologist**, Cambridge, v.170, n.2, p.357-368, 2006.

ROWE, E. **Avaliação de plantas de cobertura e da comunidade infestante em duas situações de cultivo**. Florianópolis, 1997. 65p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SANTOS, L. H. ; LOSS, A. ; LORENZI, C. R. ; SOUZA, M. ; GONZATTO, R. ; KURTZ, C. ; BRUNETTO, G. ; COMIN, J. J. Nitrógeno total y sustancias húmicas en agregados del

suelo cultivado con cebolla bajo siembra directa y preparación convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 12, p. 166-174, 2018.

SALTON, J.C.; MIELNICZUCK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.

SCHNEIDER, J.; KLAUBERG FILHO, O.; FONTOURA, S. M.; ALVES, M. V. Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 701-709, 2011.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.2, p.113-117, 1997.

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.

SIX, J.; BOSSUY, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

SOUZA M.; COMIN J.J.; LEGUIZAMÓN E.S; KURTZ C.; BRUNETTO G.; MULLER J.R,V.; VENTURA B.; CAMARGO, A. P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Revista Ciência Rural**, v.7, p 21-34, 2013.

SOUZA, M.; MULLER JR., V. ; KURTZ, C. ; BRUNETTO, G. ; COUTO, R.R. ; COMIN, J. J. Weed Emergence in a Soil with Cover Crops in an Agroecological No-Tillage System. **Revista Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.

TISDALL J.M; OADES J.M. Matéria orgânica e agregados estáveis em água nos solos. **Journal Soil Science**. v.33, p.141-163, 1982.

TIVET F.; SÁ J.C.M.; LAL R, B. C.; BORSZOWSKI P.R.; SANTOS J.B.; FARIAS A.; HARTMAN D.C.; NADOLNY JUNIOR M.; BOUZINAC S.; SEGUY 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 Till Res**. v.18, p.126-203, 2013.

UPON, R.N.; BACH, E.M.; HOFMOCKEL, K.S. Spatio-temporal microbial community dynamics within soil aggregates. **Soil Biology and Biochemistry**, v.132, p. 58-68, 2019.

VILANOVA, C. C.; COMIN, J. J.; KURTZ, C.; MULLER JUNIOR, V.; URIARTE, J. F.; VENTURA, B. S.; SOUZA, M.; LOVATO, P. E.; LEGUIZAMON, E. S.; BRUNETTO, G. Interferência de plantas de cobertura sobre a incidência de plantas invasoras e a produção de cebola sob sistema de plantio direto. **Scientia Agrária**, v. 15, n.1, p. 9-14, 2014.

WRIGHT, G.C.; MCLOSKEY, W.B. CLOSEY, W.B. & TAYLOR, K.C. Managing orchard floor vegetation in flood-irrigated citrus groves. **HortTechnology**, v.13, p.668-667, 2003.

WRIGHT, S. F. et al. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 546-549, 2007

WRIGHT, S.F.;UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, 198:97-107, 1998.

WRIGHT, S.F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J.B. & UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant Soil**, 181:193-203, 1996.

YEOMANS J.C.; BREMNER J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 19, 1467–1476, 1988.

YODER 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. 28:337, p.51, 1936.

6. CAPÍTULO 2: Atributos químicos do solo e produtividade de cebola em sistemas de plantio direto agroecológico de longa duração com plantas de cobertura de inverno.

RESUMO

As práticas promovidas pelo sistema de plantio direto agroecológico de cebola (SPDH), como o uso de plantas de cobertura, revolvimento mínimo do solo, erradicação do uso de produtos agroquímicos, favorecem a ciclagem de nutrientes, fertilidade e a produtividade ao longo dos anos. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno nos atributos químicos do solo e na produtividade da cebola em SPDH de longa duração em comparação ao SPC. Os tratamentos avaliados foram: testemunha com vegetação espontânea (VE), Aveia-Preta (AV), Centeio (CE), Nabo-Forageiro (NF), Nabo-Forageiro + Centeio (NF+CE) e Nabo-Forageiro + Aveia-Preta (NF+ AV). No verão, era semeada a mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) em todos os tratamentos. Para fins de comparação com o SPDH, também foi mantido um tratamento sob SPC (Sistema de Preparo Convencional), no qual a cebola foi cultivada em sucessão com *Pennisetum glaucum* (milheto) no verão. Na época da coleta das amostras, o SPC apresentava ± 40 anos. Foi avaliada a produtividade da cebola, teores de NT (Nitrogênio Total), teores disponíveis de K e P, teores trocáveis de Ca, Mg e Al, pH em água, e calculados H+Al, saturação por Al (m%) e por bases (V%), CTC efetiva e CTC_{pH7,0} na terra fina seca ao ar (TFSA) e em agregados do solo por diâmetro nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. Constata-se os aspectos positivos promovidos pelo uso das plantas de cobertura no SPDH, bem como as práticas agrícolas promovidas por esse sistema. Os maiores teores de NT em agregados do solo são observados na camada de 0,05 – 0,10 cm no tratamento NF. O tratamento NF influencia nos maiores teores de Ca nos agregados do solo em todas as camadas avaliadas. Nos tratamentos do SPDH foi possível constatar aumento dos teores de K em agregados, Mg na TFSA, pH em água, CTC efetiva, CTC pH7,0 e diminuição da Saturação por Al (%), com destaque para os tratamentos CE, NF e consórcios de CE+NF AV+NF, com teores superiores no SPDH quando comparado ao SPC nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,05-0,10 cm. A ACP e a análise de cluster demonstraram claramente esses efeitos, com a separação dos sistemas do SPC do SPDH de produção de cebola.

Palavras-Chave: Fertilidade do solo. Ciclagem de nutrientes. Rendimento. TFSA. Agregados.

6.1 INTRODUÇÃO

A cebola se destaca como a terceira hortaliça mais produzida no Brasil. O estado de Santa Catarina (SC) é o maior produtor do país, com área colhida de 18.960 ha⁻¹, produção total de 485 mil toneladas e produtividade de 25.586 kg ha⁻¹, na safra 2018/2019 (EPAGRI/CEPA, 2019). No entanto, o seu cultivo é majoritariamente realizado em sistema de preparo convencional (SPC) do solo, que se caracteriza pelo excessivo revolvimento do solo com uso de aração, gradagem e enxada rotativa, além do uso de elevadas quantidades de adubos solúveis e agrotóxicos (MENEZES JUNIOR et al., 2014; EPAGRI, 2013). Essas práticas ocasionam a degradação física (PANACHUCKI et al., 2011; LOSS et al., 2015; FERREIRA et al., 2019), química (OLIVEIRA et al., 2016; COMIN et al., 2018; GIUMBELLI et al., 2020; LOSS et al., 2020; SOUZA et al., 2021) e biológica do solo (VARGAS, 2012; VENTURA et al., 2021).

Visando reduzir esses impactos negativos ao ambiente edáfico, agricultores do Estado de SC, mais especificamente da região do Alto do Vale do Itajaí, estão realizando o cultivo da cebola por meio do sistema plantio direto, sendo neste caso denominado de sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). Com este sistema busca-se a transição da agricultura convencional para outra com princípios agroecológicos (NICHOLS et al., 2019), com o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura do solo que produzam grandes quantidades de fitomassa, promovendo melhorias na fertilidade do solo (OLIVEIRA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017), que preservem e/ou melhorem a qualidade dos atributos físicos do solo (COMIN et al., 2018; BORTOLINI et al., 2021), melhorem os atributos biológicos do solo (GATIBONI et al., 2009; LIU et al., 2016; VENTURA et al., 2021), além do revolvimento do solo restrito às linhas de cultivo (MAFRA et al., 2019), que no conjunto permite diminuir e/ou eliminar o uso de herbicidas no agroecossistema (ALTIERI et al., 2011).

O uso de espécies vegetais como cobertura do solo nos sistemas de cultivo conservacionistas, como o SPDH, deve considerar características que propiciem melhorias nos atributos do solo, tais como a morfologia e profundidade das raízes, influenciando na ciclagem de nutrientes (SOUZA et al., 2021; ROTERS, 2020) e estruturação do solo (GIUMBELLI et al., 2021; LOSS et al., 2019), e melhoram a absorção de nutrientes pelas culturas comerciais. Além disso, é desejável que as plantas de cobertura tenham potencial de produzir elevada biomassa vegetal (OLIVEIRA et al., 2017; SOUZA et al., 2018; MAFRA et al., 2019), cujos resíduos depositados na superfície do solo permitam incrementar os teores de matéria orgânica do solo, com influência direta sobre a ciclagem dos nutrientes (OLIVEIRA et al., 2017) e no

potencial produtivo das culturas de interesse econômico (RIBEIRO et al., 2011; MAFRA et al., 2019; SOUZA et al., 2021).

Além do mais, as plantas de cobertura em cultivo solteiro e consorciado nos sistemas conservacionistas propiciam incrementos nos teores de Carbono (C) e Nitrogênio (N) no solo (HIGASHIKAWA et al., 2019; COMIN et al., 2018; FERREIRA et al., 2018). E também melhoram a absorção de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) e realizam a complexação de elementos tóxicos como o Alumínio, aumentam a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) por meio do aumento dos teores de matéria orgânica no solo e a menor acidez, o aumento do Fósforo (P) disponível e os demais atributos de fertilidade do solo (CUNHA et al., 2011; SANTOS et al., 2017; LOSS et al., 2020).

Estudo realizado por Favarato et al. (2015), constatou que a massa seca (MS) de *Avena strigosa* e *Lupinus albus* consorciados em Sistema de Plantio Direto (SPD) proporcionou incrementos nos teores de pH, P, K e Ca em solo cultivado com milho verde orgânico. Estudando a influência do uso de plantas de cobertura em SPDH por 8 anos, Souza et al. (2021) observaram que a deposição da MS de *Avena strigosa*, *Secale Cereale* e *Raphanus sativus*, solteiros e consorciados, melhoraram os atributos químicos do solo o longo dos anos e o rendimento de cebola à medida que o sistema se estabiliza ao longo dos anos. Em seu estudo, Madeira et al. (2019) também destacaram a importância da decomposição da MS das plantas de cobertura, e no caso das leguminosas, a fixação biológica de nitrogênio, o que aumenta a disponibilização deste nutriente para os cultivos de hortaliças (tomate) e diminui o risco de imobilização de N em SPDH.

Já em estudo realizado por Uribe et al. (2018), comparando o impacto de revolvimento intensivo do solo e manejo conservacionista nas perdas de N e K no cultivo de batata (*Solanum tuberosum*), os autores constataram que práticas com menor revolvimento do solo, adubação verde e cobertura permanente do solo propiciam um maior acúmulo do N no solo.

No entanto, a maioria dos trabalhos que avaliam atributos químicos do solo em sistemas de cultivo agroecológico de hortaliças utilizam amostras deformadas de solo para realizar a sua caracterização. E conforme destacado anteriormente, o uso de diferentes espécies vegetais favorece o aporte de MOS, com conseqüente aumento na formação de macroagregados (SANTOS et al., 2017; GIUMBELLI et al., 2020). Quando ocorre o processo de formação dos agregados do solo, uma parte da MOS se torna protegida fisicamente no interior desses macroagregados, ocasionando a diminuição em sua mineralização por causa do menor ataque dos microrganismos e suas enzimas (CHISTENSEN, 1996).

Os sistemas de cultivo como SPDH com uso de plantas de cobertura apresentam aumento da estabilidade e, conseqüentemente, da proporção dos macroagregados (LOSS et al., 2015; SANTOS et al., 2017), com maior proteção física da MOS nestes agregados, evitando a sua exposição à decomposição pelos microrganismos (SIX et al., 2002). Diante do exposto, se justifica a necessidade da realização de mais estudos sobre a influência do uso de plantas de cobertura em sistemas de cultivo agroecológico de hortaliças, como a cebola, sobre os atributos químicos de agregados do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura solteiras ou consorciadas nos atributos químicos dos agregados do solo, na terra fina seca ao ar e na produtividade da cultura da cebola em sistemas de cultivo de longa duração.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), no município de Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina (Latitude 27° 24' 52", Longitude 49° 36' 9" e altitude de 475 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é subtropical mesotérmico úmido (Cfa), temperatura média anual de 17.6 °C e precipitação anual média de 1400 mm (Souza *et al.*, 2013). O solo foi classificado como Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2013) ou Humic Dystrudept (Soil Survey Staff, 2006).

A área do experimento possuía histórico de 20 anos de cultivo de cebola no SPC (aração e gradagem) até 1996. Após esse ano, foi implantado o sistema de cultivo mínimo de cebola com rotação de culturas com plantas de cobertura como a Aveia-Preta (*Avena strigosa*), mucuna (*Mucuna aterima*), milho (*Pennisetum glaucum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e ervilhaca (*Vicia sativa*). Esse sistema permaneceu de 1996 até 2007, quando foi cultivada batata-doce e explorada até 2009. A partir de então instalou-se o experimento com SPDH agroecológico de cebola. Em abril de 2009, a vegetação espontânea foi dessecada e, em seguida, foi aplicado e incorporado calcário, para elevar o pH em água até 6.0 (CQFS-RS/SC, 2004). Em julho de todos os anos, desde a implantação do experimento, todas as espécies de inverno foram acamadas usando um rolo-faca. Em seguida, foram aplicados na área 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de fosfato natural de Gafsa, e 175 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 125 kg ha⁻¹ de K₂O, 160 kg ha⁻¹ de N, na forma de cama de aves, metade no momento do transplante e o restante 30 dias após o transplante das mudas. A composição química do composto da cama de aves adicionada aos

tratamentos foi caracterizada por Muller Junior (2017) pela metodologia de Tedesco et al. (1995), apresentando os seguintes valores: carbono orgânico total (COT) (g kg^{-1}): $193,2 \pm 1,2$; N total (g kg^{-1}): $20,0 \pm 0,3$ e relação C/N (g kg^{-1}): $9,66 \pm 0,1$ (\pm referente ao desvio padrão da média ($n=3$).

Os tratamentos no SPDH avaliados foram implantados no ano de 2009, sendo estabelecidos da seguinte maneira: vegetação espontânea - Testemunha; composto por 20 famílias botânicas, com predominância de 6 famílias (85%), segundo Villanova (2011) - Amaranthaceae (10%), Asteraceae, Caryophyllaceae, Compositae (10%), Convolvulaceae, Cruciferae, Cyperaceae (25%), Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae (10%), Leguminosae, Liliaceae, Malvaceae, Oxalidaceae (10%), Plantaginaceae, Poaceae, Polygonaceae (20%); Aveia-Preta (AV) (*Avena strigosa*) (120 kg ha^{-1} de sementes); Centeio (CE) (*Secale cereale*) (120 kg ha^{-1} de sementes); Nabo-Forageiro (NF) (*Raphanus sativus*) (120 kg ha^{-1} de sementes); *A. strigosa* (60 kg ha^{-1} de sementes) + *R. sativus* (10 kg ha^{-1} de sementes) (AV+NF); *S. cereale* (60 kg ha^{-1} de sementes) + *R. sativus* (10 kg ha^{-1} de sementes) (CE+NF), durante o inverno. No verão, foi semeada a mucuna preta (*Stizolobium aterrimum*) (80 kg ha^{-1} de sementes) nas áreas que receberam tratamento com plantas de cobertura. Para fins de comparação com o SPDH, também foi mantido um tratamento sobre SPC, no qual a cebola foi cultivada em sucessão com *Pennisetum glaucum* (milheto) (30 kg ha^{-1} de sementes) no verão. No SPC foram feitas aração, gradagem e escarificação do solo. Na época da coleta das amostras, o SPC apresentava ± 40 anos de cultivo. No SPC a adubação foi realizada conforme recomendação do CQFS-RS/SC (2004) para uma produtividade média de cebola 45 Mg ha^{-1} . As quantidades aplicadas foram 165 Kg ha^{-1} de P_2O_5 (Superfosfato triplo), 105 Kg ha^{-1} de K_2O (Cloreto de Potássio) e 192 Kg ha^{-1} de N (Nitrato de Amônio). No SPC a calagem foi realizada em 2010 para elevar o pH para 6,0 através do método SMP (CQFS-RS/SC, 2004).

Ao longo da condução do experimento as espécies de inverno e a espécie de verão foram semeadas a lanço sobre a superfície do solo e, em seguida, uma máquina semeadora de plantio direto de cereais foi passada duas vezes na área para promover uma leve incorporação das sementes no solo. A área experimental não recebeu nenhum tipo de adubação, irrigação ou trato cultural durante o ciclo das plantas de cobertura de inverno e verão, sendo as quantidades de sementes das plantas de cobertura calculadas com base nos valores mais elevados da recomendação de Monegat (1991) + 50% para aumentar o estande de germinação e produção de biomassa. Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo cada unidade experimental composta de parcelas com 25 m^2 ($5 \times 5 \text{ m}$),

perfazendo uma área experimental de 700 m².

Em julho de 2016, sete anos após a instalação do experimento e 120 dias após a semeadura (DAS) das espécies de plantas de cobertura do ano de 2016, foram coletadas três subamostras para a obtenção de uma amostra composta de biomassa das plantas de cobertura por parcela, usando um quadro de 0,5 x 0,5 m (0,25m²). A biomassa coletada foi seca em estufa com ventilação de ar forçado a 65 °C até peso constante e, logo depois, pesada para estimar a produção de matéria seca (MS) por hectare. Após a pesagem, a biomassa colhida retornou a área de estudo e foi depositada nos locais de coleta.

Em novembro de 2016, ao final do ciclo da cultura da cebola, foi realizada manualmente a colheita dos bulbos em seis linhas centrais de cada parcela e os bulbos permaneceram na superfície do solo por 10 dias para a cura (secagem e perda de água das folhas).

No mesmo momento da coleta da biomassa vegetal, também foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo, nas camadas de 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. As amostras deformadas foram secas ao ar e peneiradas (2,00 mm) para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) (EMBRAPA, 1997). As amostras indeformadas foram secas ao ar e destorroadas manualmente, seguindo fendas ou pontos de fraqueza, e passadas em um conjunto de peneiras de malha de 8,00 mm e 4,00 mm, obtendo-se os agregados do solo, conforme Embrapa (1997). Dos agregados retidos na peneira de 4,00 mm, parte foi separada para realização das análises químicas e físicas. As análises físicas (estabilidade de agregados), assim como os teores de carbono orgânico total dos agregados e da TFSA, foram realizadas por Bortolini et al. (2021).

Para avaliação dos atributos químicos do solo, os agregados foram destorroados e passados em malha de 2,00 m. Neste material e na TFSA foi realizada a caracterização química. O teor de nitrogênio total (NT) foi determinado pelo método “Kjeldhal”, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). Além disso, foram determinados o pH em água, índice SMP, teores trocáveis de Ca, Mg e Al (nos extratos obtidos através da extração por KCl 1 mol L⁻¹), teores disponíveis de P e K (nos extratos obtidos através da extração por Mehlich⁻¹), segundo métodos descritos em EMBRAPA (1997). Em seguida, foram calculados o H+Al, Saturação por Al (m%) e por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva e CTC_{pH7,0} (CQFS-RS/SC, 2016).

Os dados foram avaliados quanto à homogeneidade e normalidade pelo teste de Lilliefors e Cochran, e submetidos à ANOVA, pelo teste F a 5% de probabilidade. Quando

significativos, foram comparados pelo teste de Skott-Knott a 5%. Também foi realizada a comparação entre agregados ($8.00 > \emptyset \geq 4.0$ mm) e TFSA ($\emptyset < 2.0$ mm) quanto aos teores de alguns atributos químicos (NT, P e K disponível e Ca e Mg trocável) pelo teste T-LSD a 5%. Por fim, foi realizada uma análise estatística multivariada (análise de componentes principais – ACP, e análise de cluster, através do Programa R) com todos os dados obtidos, de modo a reduzir as dimensões dos dados e, conseqüentemente, facilitar a análise por meio do gráfico do círculo de correlações.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de Nitrogênio Total nos Agregados do solo (Agreg.) e TFSA

Os maiores teores de NT foram encontrados nos agregados da camada de 0,00-0,05 cm nos tratamentos NF, AV+NF, juntamente com o tratamento SPC (Tabela 6). A comparação dos teores de NT nas amostras de agregados e TFSA, na camada de 0,00-0,05 m, denota os tratamentos AV+NF e CE com os maiores teores nos agregados (Tabela 6).

Nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, o tratamento SPC apresentou os maiores valores de NT em relação aos demais tratamentos do SPDH, tanto nas amostras de agregados como de TFSA. Dentre os tratamentos do SPDH, na camada de 0,05-0,10 m, os tratamentos VE, CE e AV + NF apresentaram os maiores valores nos agregados e AV + NF na TFSA. Já na camada de 0,10-0,20 m, o tratamento VE apresentou os maiores valores de NT nos agregados e AV, seguido de VE, NF e AV + NF na TFSA. Na comparação entre agregados e TFSA, na camada de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, os tratamentos VE, AV, CE, NF, CE + NF e SPC apresentaram maiores valores de NT nos agregados (Tabela 6).

Os maiores teores de NT encontrados no tratamento NF estão relacionados ao seu sistema radicular pivotante que possui capacidade de extrair o N de camadas mais profundas do solo, e que após decomposição dos tecidos e mineralização do N é liberado no solo (LAZARO et al., 2013). Já as gramíneas, incluindo a Aveia e o Centeio, apresentam um sistema radicular composto por raízes mais finas e pelos radiculares longos (ALVES et al., 2002), uma rápida formação de cobertura vegetal do solo e lenta decomposição (OLIVEIRA et al., 2016; SORATTO et al., 2012).

Tabela 6. Teores de nitrogênio total (NT) de agregados e TFSA sob sistema de plantio direto de hortaliças e sistema de preparo convencional de cebola.

Tratamentos	Nitrogênio Total (g kg ⁻¹)								
	-----Camadas-----								
	0,00-0,05 m		CV	0,05-0,10 m		CV	0,10-0,20 m		CV
	Agreg.	TFSA	(%)	Agreg.	TFSA	(%)	Agreg.	TFSA	(%)
VE	1,55c	2,64b	6,85	2,44b*	1,63c	3,64	2,69b*	1,52c	10,51
Aveia-Preta (AV)	2,39b	2,22c	6,20	1,80c*	1,53c	7,07	1,89c*	1,78b	16,04
Centeio (CE)	2,51b*	2,20c	5,72	2,40b*	1,60c	9,58	1,90c*	1,32d	4,61
Nabo-Forageiro (NF)	2,62a	2,74c	8,49	1,99c*	1,76c	5,12	1,89c*	1,63c	12,51
CE+NF	2,24b	1,92d	10,49	2,04c*	1,77c	13,02	1,76c*	1,32d	7,43
AV+NF	2,73a*	2,36c	11,72	2,28b	2,57b	6,33	1,13c	1,55c	10,01
SPC	2,62a	2,96a	4,96	3,33a*	2,84a	5,14	3,09a*	2,54a	10,06
CV (%)	9,56	10,35		8,19	10,57		9,48	13,21	

VE= Vegetação Espontânea, AV= Aveia-Preta, CE= Centeio, NF= Nabo-Forageiro, CE+NF= Centeio + Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta + Nabo-Forageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional e CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Skott-knott a 5% de probabilidade de erro. *Médias nas linhas, comparando agregados e TFSA na mesma camada, não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade de erro.

O uso de plantas de cobertura com alta relação C/N e alto teor de lignina é importante para manutenção dos resíduos das espécies vegetais na superfície do solo (CARVALHO, 2010). Espécies como a Aveia-Preta e o Centeio produzem grandes quantidades de MS e, em geral, possuem elevada relação C/N (OLIVEIRA et al., 2016). Mas crucíferas como o Nabo-Forageiro possuem crescimento rápido e uma rápida cobertura do solo (FAYAD et al., 2019). Por sua vez, o consórcio do Nabo-Forageiro com uma gramínea (Aveia-Preta ou Centeio) pode influenciar na relação C/N intermediária, permitindo a cobertura da superfície do solo ao longo do tempo, mas também uma gradual decomposição dos resíduos e, tendo como resultado, uma liberação gradual de nutrientes para o solo (GIACOMINI et al., 2003; CRUSCIOL et al., 2005).

Quando ocorre a decomposição dos resíduos da MS vegetal, a atividade dos microrganismos presentes no solo aumenta e, dependendo da relação C/N das plantas em decomposição, o N é rapidamente mineralizado ou parte deste é imobilizado pelos microrganismos (TROEH & THOMPSON, 2007). Assim sendo, o tipo de cobertura vegetal influencia a disponibilidade desse nutriente para a cultura em sucessão. Essas práticas além de promoverem a preservação dos agregados do solo, permitem incrementos e proteção do C e N no solo quando comparados a sistemas com revolvimento do solo, como é o caso do SPC (KAHLON et al., 2013). Isso corrobora com os dados encontrados por Bortolini et al. (2021), na mesma área experimental, onde os tratamentos com uso de plantas de cobertura solteiras Aveia-Preta, Centeio e consorciadas Aveia-Preta+Nabo-Forageiro e Centeio pertencentes ao SPDH apresentaram maiores valores de DMP e DMG quando comparado ao tratamento SPC, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Os autores também constataram efeito positivo quanto aos teores de COT em que os tratamentos do SPDH apresentaram destaque com os maiores teores na TFSA na camada de 0-5 cm de profundidade. Esses maiores valores de NT encontrados nos agregados em todos os tratamentos nas camadas de 5-10 e 10-20 cm de profundidade quando comparados a TFSA estão associados às adições de biomassa vegetal que cada um desses tratamentos recebe e práticas de manejo adotadas, em que o COT se encontra protegido no interior dos agregados, diminuindo o acesso pela atividade microbiana (LOSS et al., 2015).

O uso do milho como planta de cobertura no SPC e as adubações nitrogenadas podem ter mantido os teores de NT maiores que no SPDH em todas as profundidades. O milho é uma planta que apresenta decomposição lenta em virtude de apresentar relação C/N ≥ 30 nas fases de emborrachamento e florescimento (KLIEMANN et al., 2006), e uma alta capacidade de

produzir biomassa vegetal (TEIXEIRA et al. 2005), podendo dessa forma a permanência dos resíduos auxiliar na proteção do solo e na ciclagem de nutrientes (SOUZA et al., 2013).

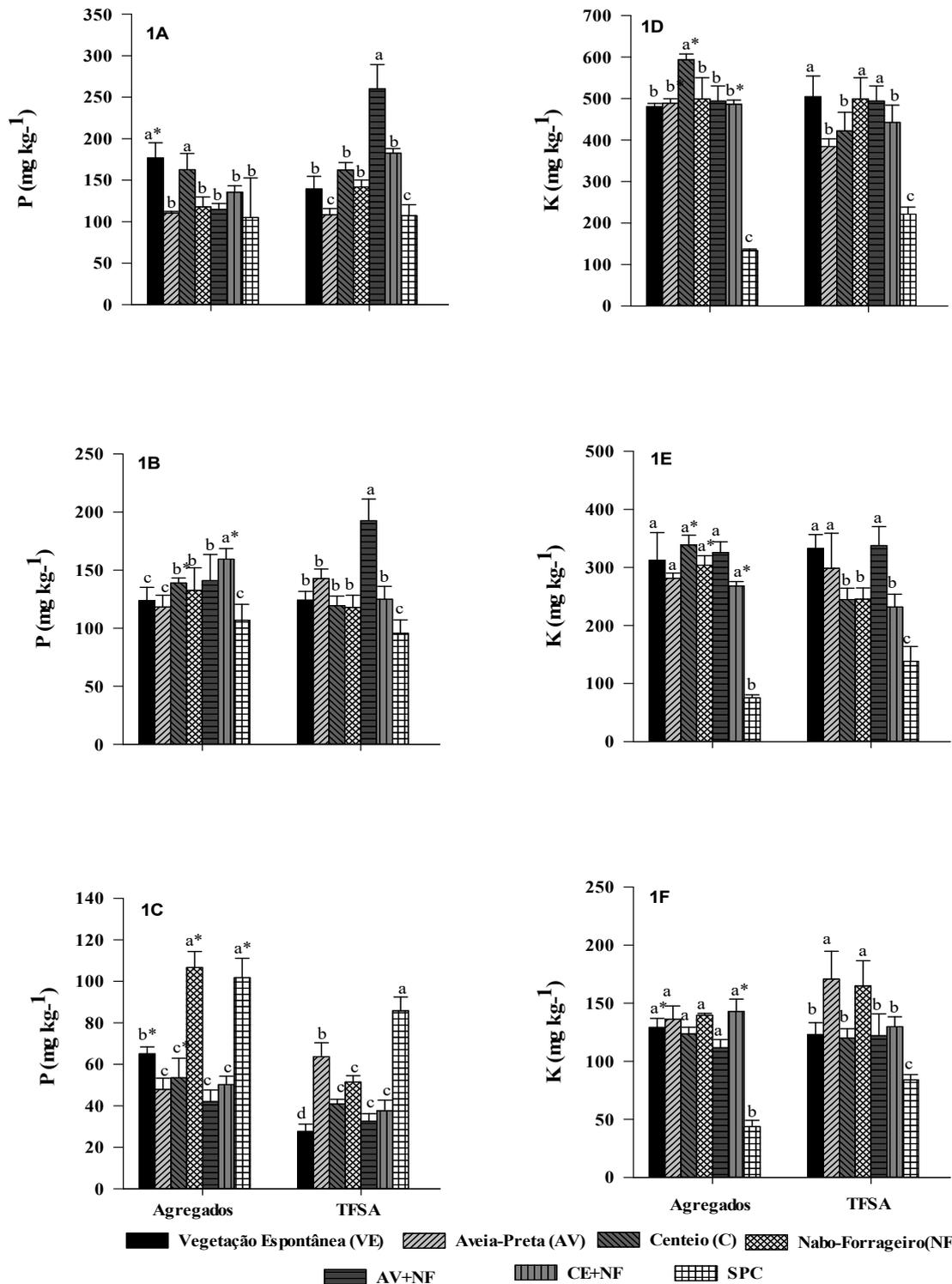
Teores disponíveis de P e K, e trocáveis de Ca e Mg nos Agregados do solo e TFSA

Os maiores teores de P disponível nas amostras de agregados foram observados no tratamento VE e CE na camada de 0,00-0,05 cm (Figura 4A), no tratamento CE+NF na camada de 0,05-0,10 cm (Figura 4B) e no tratamento NF e no SPC (Figura 4C). Já nas amostras de TFSA, os maiores teores disponíveis de P foram encontrados no tratamento AV+NF, nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 cm (Figuras 4A e 4B), no tratamento SPC na camada de 0,10-0,20 m (Figura 4C). Na comparação entre as amostras de agregados e TFSA, os tratamentos que apresentaram maiores teores nos agregados do solo foram VE na camada de 0,00-0,05 m (Figura 4A), CE, CE+NF na camada de 0,05-0,10 m (Figura 4B) e VE, CE, NF e SPC na camada de 0,10-0,20 m (Figura 4C).

Os maiores teores de P disponível encontrados nos tratamentos com uso de Nabo-Forageiro, solteiro e consorciado (Figura 4B e 4C), podem estar relacionados ao fato dessa espécie produzir grandes quantidade de matéria seca vegetal e no solo promover uma liberação rápida de P (OLIVEIRA et al., 2017). Além disso, essa espécie quando consorciada com Centeio, possui alto teor de lignina ($102,81 \text{ g kg}^{-1}$) e pela sua relação C/N intermediária (22) e uma baixa relação de Celulose/Lignina (3), resultando assim em uma decomposição mais lenta (OLIVEIRA et al., 2016).

O uso e a decomposição das plantas de cobertura em SPDH de cebola, além de promover a proteção do solo, pode influenciar nos teores dos nutrientes e na produção de cebola (SOUZA et al., 2013). A maior produtividade de cebola no tratamento AV+NF pode ser atribuída à quantidade de N e P que são acumulados na parte aérea da Aveia-Preta. Pois, por ser espécie que possui uma decomposição lenta, libera gradualmente esses nutrientes para a cultura da cebola (OLIVEIRA et al., 2016). No entanto, o Nabo-Forageiro é uma espécie que possui uma maior quantidade de N no seu tecido vegetal, que é disponibilizado rapidamente para o solo, acrescentando a liberação desse nutriente para as culturas (DONEDA et al., 2012).

Figura 4. Teores disponíveis de fósforo (P) nas camadas de 0,00-0,05 m agregados e TFSA (1A), 0,05-0,10 m agregados e TFSA (1B), 0,10-0,20 cm agregados e TFSA (1C) e potássio (K) nas camadas de 0,00-0,05 m agregados e TFSA (1D), 0,05-0,10 m agregados e TFSA (1E) e 0,10-0,20 agregados e TFSA (1F) cm de profundidade em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola.



VE= Vegetação Espontânea, AV= Aveia-Preta, CE= Centeio, NF= Nabo-Forrageiro, CE+NF= Centeio + Nabo-Forrageiro, AV+NF= Aveia-Preta Nabo-Forrageiro, SPC= Sistema de Preparo

Convencional Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Skott-knott a 5% de probabilidade de erro. *Médias comparando teores de agregados e TFSA mostraram efeitos significativos pelo teste t LSD a 5% de probabilidade.

Avaliando atributos de fertilidade nos macroagregados do solo, Santos et al. (2017) constataram que a o SPDH propiciou incrementos nos teores de COT, pH, Ca, Mg e K, o que refletiu no aumento da fertilidade do solo. Altieri et al. (2011) constataram que o uso de plantas de cobertura, com alta produção de matéria seca, influenciou na supressão das plantas espontâneas e na produtividade dos cultivos subsequentes, além de gerar efeitos positivos na qualidade do solo.

Já os maiores teores de P disponível observados no tratamento VE nos agregados na camada de 0,00-0,05 cm (Figura 4A) em comparação à TFSA (Figura 1C), podem estar relacionados à diversidade de espécies espontâneas que compõe esse tratamento, como *Amaranthus lividus*, *Rumex obtusifolius*, *Bidens pilosa*, *Galinsoga parviflora*, *Stachys arvensis*, *Sonchus oleraceus*, *Artemisia verlotorum*, *Cyperus spp.*, *Oxalis corniculada*, *Oxalis latifolia*, *Ipomea grandifolia*, *Sida glaziovii*, *Veronica persica*, entre outras espécies listadas no estudo realizado por Souza et al. (2018). Essas espontâneas possuem um crescimento rápido, e uma baixa produção de matéria seca vegetal, quando comparado aos demais tratamentos do SPDH. Além disso, a alta diversidade vegetal influencia nos maiores teores de P e, com o tempo, pode influenciar nos demais teores de nutrientes no solo, por intermédio da maior cobertura vegetal que ocasiona diminuição da erosão e das perdas de P no solo (TRINDADE et al., 2011). Estudo realizado por Falleiro et al. (2003) ressalta que o aumento dos teores de P em solo no SPD tem relação com a manutenção de resíduos de plantas na superfície do solo, o que por sua vez favorece a ciclagem do elemento contribuindo para o incremento e disponibilidade dos teores de P.

Os menores teores de P encontrados nas camadas de 0,00-0,05 e 0,5-0,10 m na TFSA no SPC estão relacionados ao revolvimento do solo. Já os maiores teores de P disponível encontrados no tratamento SPC (agregados e TFSA na camada de 0,10-0,20 m) estão relacionados a adição de MS do milho incorporado ao solo, trazendo esses maiores valores para as camadas mais profundas. Os resíduos das plantas de cobertura ao se decomporem liberam nutrientes para a cebola via mineralização. Ao mesmo tempo, as raízes das plantas de cobertura exploraram as camadas mais profundas e absorvem P no perfil do solo (TIECHER et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2017).

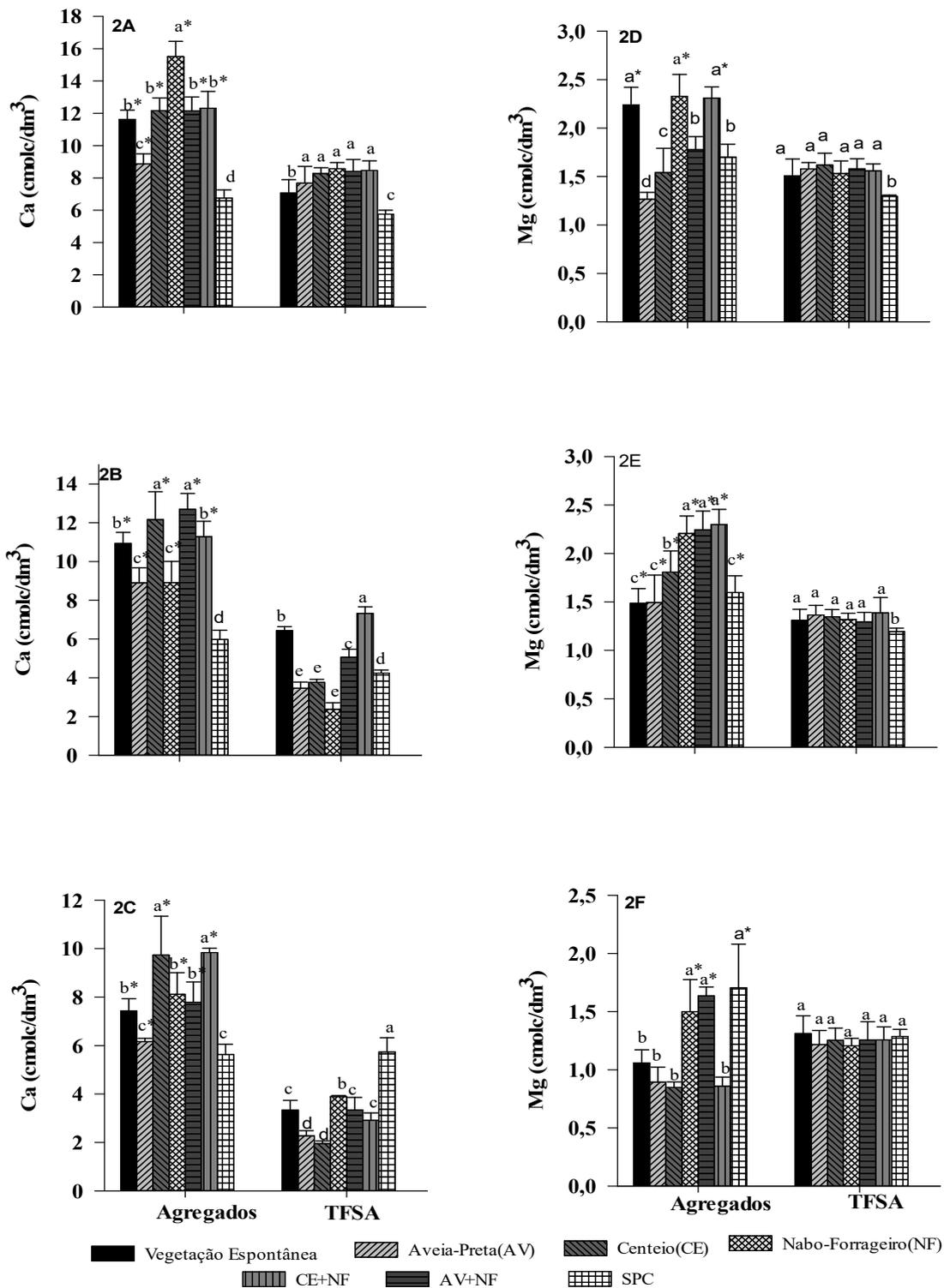
Assim, conseguimos destacar que a MS dos tratamentos do SPDH contribuiu substancialmente para o suprimento de K quando comparado ao SPC. Além do efeito da MS de parte aérea, as raízes das diferentes espécies vegetais também possuem a capacidade de minimizar a lixiviação de nutrientes, por meio de uma melhor exploração do perfil do solo e a sua capacidade de absorver nutrientes das camadas mais profundas (SILVA et al., 2014). A Aveia-Preta, por exemplo, tem alta capacidade de perfilhamento, um sistema radicular fasciculado e profundo e alta relação C/N, características que promovem ciclagem de nutrientes.

Para o Ca, nos agregados, os maiores teores trocáveis foram encontrados no tratamento NF, seguido dos demais tratamentos do SPDH, e os menores valores no SPC na camada de 0,00-0,05 m (Figura 5A). Os maiores teores na camada de 0,05-0,10 m ocorreram nos tratamentos CE e CE+NF e os menores em AV, NF e no SPC (Figura 5B), e na camada de 0,10-0,20 m os teores foram maiores no CE e os menores no tratamento CE+NF (Figura 5C). Na TFSA, os teores de Ca trocáveis foram maiores nos tratamentos do SPDH e os menores no SPC na camada de 0,00-0,05 m (Figura 5D). Na camada de 0,05-0,10 m, os maiores valores de Ca foram no tratamento AV+NF e os menores nos tratamentos AV, CE e NF (Figura 5E), e foram maiores no SPC e menores no tratamento AV e CE na camada de 0,10-0,20 m (Figura 5F). Quando comparados os teores de Ca entre agregados e TFSA, os maiores teores foram encontrados em todos os tratamentos do SPDH.

Já os maiores teores de Mg^{2+} trocável nos agregados foram observados nos tratamentos VE, NF e AV+NF na camada de 0,0-0,05 m (Figura 5D), nos tratamentos NF, CE+NF e AV+NF, seguidos de NF, que diferiu dos demais na camada de 0,05-0,10 m (Figura 5E), e nos tratamentos NF, CE+NF e SPC na camada de 0,10-0,20 m (Figura 5F). Nas amostras de TFSA, os maiores teores foram encontrados em todos os tratamentos do SPDH nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,05-0,10 m (Figuras 5E e 5F). Quando comparado TFSA e agregados, os maiores teores de Mg^{+2} ocorreram nas amostras de agregados dos tratamentos VE, NF, AV+NF (0,00-0,05 m), NF, AV+NF, CE+NF (0,05-0,10 m) e NF, CE+NF e SPC (0,10-0,20 m).

Esses maiores teores de Ca^{+2} e Mg^{2+} trocável encontrados no tratamento NF solteiro e consorciado estão relacionados ao revolvimento restrito do solo nos tratamentos do SPDH, que proporciona a proteção aos agregados (FERREIRA et al., 2018), evitando a perda dessas bases trocáveis (PAVINATO & ROSOLÉM, 2008) e influenciando na ciclagem de nutrientes com consequente aumento da fertilidade do solo (MELO et al., 2011).

Figura 5. Teores disponíveis de Cálcio (Ca) nas camadas de 0,00-0,05 cm (2A), 0,05-0,10 m (2B), 0,10-0,20 m (2C) e Magnésio (Mg) nas camadas de 0,00-0,05 m (2D), 0,05-0,10m (2E) e 0,10-0,20 (2F) cm de profundidade em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola.



VE= Vegetação Espontânea, AV= Aveia-Preta, CE= Centeio, NF= Nabo-Forageiro, CE+NF= Centeio + Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta, Nabo-Forageiro, SPC= Sistema de Preparo Convencional e CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Skott-knott a 5% de

probabilidade de erro. *Médias comparando teores de agregados e TFSA mostraram efeitos significativos pelo teste t LSD a 5% de probabilidade.

O Nabo-Forageiro solteiro e consorciado também apresentou destaque em quase todas as camadas, por ser uma espécie que quando em decomposição sobre a superfície do solo tende a liberar rapidamente seus nutrientes presentes nos resíduos (CRUSCIOL et al., 2005). No entanto, quando consorciado com outra espécie, como o Centeio, que possui alta relação C/N, o Nabo-Forageiro tem sua liberação e decomposição mais lenta, e os nutrientes dessas espécies são liberados gradualmente para a cultura de sucessão (FERREIRA et al., 2014). O Nabo-Forageiro, por meio de seu sistema radicular pivotante, contribui para descompactação do solo e adequada distribuição dos exsudatos radiculares no solo (CASALI, 2012). Os exsudatos são compostos produzidos pelas plantas e podem compreender aminoácidos, pectinas, polissacarídeos, açúcares, aminoácidos e aminas, ácidos alifáticos e aromáticos, compostos fenólicos, ácidos graxos, esteroides, enzimas e fatores reguladores de crescimento (auxinas, citocininas, giberilinas) (MARSCHENER, 2012). Sendo assim, durante a exsudação radicular, as plantas têm a capacidade de regular diversos efeitos, entre eles, a microbiota da rizosfera, modificar propriedades físicas e químicas do solo e inibir crescimento de plantas espontâneas (LOSS et al., 2019).

De maneira geral, os tratamentos pertencentes ao SPDH possuem teores de Ca e Mg superiores ao SPC. Isso ocorre por conta do uso das plantas de cobertura e a influência delas na ciclagem de nutrientes, aumentando a fertilidade do solo, maior teor desses nutrientes e o revolvimento do solo restrito proporciona uma proteção física dos agregados, evitando assim a perda dessas bases trocáveis conforme destaca Santos et al. (2017), avaliando o sistema de plantio direto agroecológico de cebola em comparação ao convencional, encontraram melhorias nos atributos químicos do solo.

Valores pH em água, Al^{+3} , H+Al, CTC efetiva, CTC pH 7,0, Saturação por Al (%) e V% em agregados e terra fina seca ao ar sob sistema de plantio direto de hortaliças e sistema de preparo convencional.

Os valores de pH em água do solo na camada de 0,00-0,05 m não foram influenciados pelos tratamentos do SPDH com uso plantas de cobertura nem pelo SPC (Tabela 7). Diferenças ocorreram nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, onde os tratamentos do SPDH foram superiores ao SPC na TFSA. Os maiores valores de pH dos tratamentos do SPDH em relação ao tratamento SPC podem ser devidos ao uso e manutenção de plantas de cobertura, que por

meio de seus sistemas radiculares dinâmicos e ativos em várias profundidades do solo, bem como a produção de biomassa, favorecem a liberação e exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Isso resulta em um aumento de cargas negativas no solo e, portanto, promove a complexação de íons H^+ e Al^{3+} , causando um aumento no pH e deixando cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ livres na solução do solo (FRANCHINI et al., 1999; PAVINATO & ROSOLEM, 2008; SANTOS et al., 2017). Esse resultado corrobora, de maneira geral, com os maiores valores de Ca, Mg e K encontrados no SPDH em comparação ao SPC.

Em estudo realizado com o uso de plantas de cobertura para avaliar a influência da Aveia-Preta e do tremoço-branco (*Lupinus albus L.*) sobre atributos químicos de um solo cultivado com milho (*Zea mays*) sob SPD e SPC, Oliveira et al. (2016) constataram que o uso destas plantas de cobertura influenciou positivamente os atributos químicos do solo como pH e capacidade de troca de cátions (CTC) no SPD. Santos et al. (2018), em seu estudo verificaram que o uso de espécies vegetais como Aveia-Preta, Nabo-Forageiro e Centeio solteiras e consorciadas, ao longo dos anos, influenciam nos teores de MOS e, isso, conseqüentemente, favorece o poder tampão do solo e evita as variações do pH no sistema de cultivo.

Avaliando os teores de Al^{3+} verifica-se que em todas as camadas o tratamento SPC apresentou os maiores valores em comparação aos tratamentos do SPDH (Tabela 7). Quando na forma Al^{3+} , o alumínio é prejudicial às plantas, afetando o desenvolvimento de seu sistema radicular e, conseqüentemente, sua produtividade (COMIN et al., 2006; MEURER, 2012). No entanto, mesmo que os teores de Al^{3+} sejam maiores na área sob SPC nas três camadas, e o valor da saturação por Al (%) também seja maior no SPC na camada de 0,00-0,05 m, esses valores são baixos, pois níveis de saturação por Al de até 15% não são considerados tóxicos para a maioria das culturas (CQFS-RS/SC, 2016). Quando comparados os teores de $H+Al$ entre as amostras de agregados e TFSA encontra-se os maiores valores nos tratamentos VE, CE (0,00-0,05 m), AV (0,05-0,10 m) e AV+NF, CE+NF e SPC (0,05-0,10 m).

Em relação à CTC efetiva e CTC pH 7,0, os tratamentos CE, NF, AV+NF e CE+NF apresentaram os maiores valores na camada de 0,00-0,05 m em relação ao SPC. Já na camada de 0,05-0,10 m, CE+NF apresentaram os maiores valores, enquanto o SPC, AV e CE apresentaram os menores para CTC efetiva, e SPC, AV e NF os menores valores para a CTC pH 7,0. Na camada de 0,10-0,20 m, o SPC apresentou os maiores valores, enquanto a AV e CE os menores valores para a CTC efetiva e AV para a CTC pH 7,0 (Tabela 7). No entanto, quando comparado os teores de agregados e TFSA, os valores de CTC efetiva foram maiores nos agregados em todas as camadas estudadas no SPDH com exceção 0,10-0,20 m (Tabela 7). Esses

maiores valores de CTC encontrados nos agregados estão relacionados aos altos valores de Ca e Mg e o efeito que as plantas de cobertura e práticas de manejo desempenharam sobre o mesmo. Santos et al. (2017), avaliando o efeito do SPDH e do SPC de cebola e de uma área de floresta secundária sobre os atributos químicos dos macroagregados do solo, constataram que a conversão das áreas de cultivo de cebola em SPDH para SPC aumentou os teores de COT, pH, Ca, Mg e K nos macroagregados do solo na camada de 0-5 cm. Estes resultados podem ser explicados pelo uso das plantas de cobertura solteiras e consorciadas no SPDH, intensa atividade dos sistemas radiculares dessas plantas, somado à liberação e ciclagem de nutrientes da biomassa vegetal, fatores que influenciam na MOS e na 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; BALESSENT et al., 2000).

Quando comparado os valores de Saturação por Al nos agregados e TFSA, os maiores valores foram encontrados nos agregados nos tratamentos AV, NF, AV+NF (0,00-0,05 m), corroborando com os menores valores obtidos de pH. No que concerne ao V%, os consórcios de AV+NF e CE+NF apresentaram os maiores valores, enquanto no SPC os menores, na camada 0,00-0,05 m. Na camada de 0,05-0,10 m o tratamento com VE teve o maior valor e o NF o menor. E na camada de 0,10-0,20 m, o SPC o maior valor e o CE o menor (Tabela 7). Quando comparados os teores entre as amostras de agregados e TFSA, o tratamento CE+NF (0,00-0,05 m) apresentou destaque com o maior valor nos agregados. Quando avaliadas as demais camadas, todos os tratamentos pertencentes ao SPDH (VE, AV, CE, AV+NF, CE+NF) apresentaram os maiores soma de bases (V%) nos agregados do solo (0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) (Tabela 7). Já os menores valores de Soma de Bases (V%), foram encontrados no tratamento SPC nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade, nos agregados e na TFSA.

Tabela 7. Atributos químicos do solo em terra fina seca ao ar (TFSA) sob sistema de plantio direto de hortaliças e sistema de preparo convencional.

Tratamentos	pH em água	pH em água	Al ⁺	Al ⁺	H+Al	H+Al	CTC efetiva	CTC efetiva	CTC pH 7,0	CTC pH 7,0	Saturação por Al(%)	Saturação por Al(%)	V (%)	V (%)
	TFSA	Agreg	TFSA	Agreg	TFSA	Agreg	TFSA	Agreg	TFSA	Agreg	TFSA	Agreg	TFSA	Agreg
----- cmol.kg⁻¹ -----														
0.00-0.05 m														
VE	5,90a	5,49a	0,13b	0,10b	3,01b	3,92a*	6,62a	10,35b*	13,87b	13,44a	1,35b	1,99b	76,57b	57,44c
AV	6,00a	5,44a	0,10c	0,13b*	2,97b	2,68c	6,19a	10,00b*	13,20b	13,89a	1,02c	2,21b*	77,53b	68,47a
CE	5,91a	5,29a	0,14b	0,10b	3,40a	4,00a*	6,71a	11,11a*	14,36a	12,20b	1,28b	1,57b	76,37b	61,52b
NF	5,79a	5,43a	0,10c	0,10b	3,41a	2,26c	6,14a	11,48a*	14,79a	13,80a	0,87c	1,73b*	76,96b	72,01b
AV+NF	5,59a	5,26a	0,10c	0,10b	2,81b	1,70d	6,66a	11,35a*	14,06a	14,25a	0,92c	1,64b*	80,03a	78,77a
CE+NF	5,93a	5,50a	0,15b	0,10b	3,42a	1,42d	6,57a	11,30a*	14,57a*	14,89a	1,31b	1,66b	76,52b	81,63a*
SPC	5,98a	5,47a	0,20a	0,24a	3,46a	3,00b	5,38b	7,93c*	11,08c	14,06a*	3,92a	2,97a	68,76c	61,54b
CV (%)	4,43	1,58	7,74	7,44	7,63	12,84	5,35	6,50	4,32	8,51	10,78	8,42	2,40	10,23
0.05-0.10 m														
VE	5,73a	5,83a	0,12c	0,20a*	3,54a	3,83b	8,72b	11,31d*	12,14b	14,95b*	1,42c	1,77a	70,84a	74,32b*
AV	5,83a	5,64a	0,11d	0,10b	3,83b	4,72a*	5,74d	14,94a*	9,42d	10,95c	2,72a	0,66d	59,29c	75,81b*
CE	5,64a	5,76a	0,12c	0,10b	5,23a	4,21a	5,85d	12,00c*	10,96c	14,56b*	2,02a	0,87c	52,53d	73,80b*
NF	5,76a	5,77a	0,13b	0,10b	4,79a	1,80d	4,45e	15,87a*	9,10d	17,57a*	2,94a	0,63d	47,69e	89,78a*
AV+NF	5,77a	5,72a	0,14b	0,10b	4,36a	2,12c	7,35c	14,37a*	11,57b	15,57a*	1,86b	0,73c	62,35c	87,01a*
CE+NF	5,72a	5,73a	0,11d	0,10b	3,57b	2,19c	9,40a	13,42b*	13,93a	16,31a*	1,15d	1,49b	66,76b	85,75a*
SPC	5,45b	5,60a	0,16a	0,20a*	4,63a	3,53b	5,89d	7,91c*	9,36d	11,30c	1,70b	1,85a	61,86c	68,86c
CV (%)	2,05	2,16	7,62	5,63	10,89	5,05	4,10	5,63	4,40	4,36	10,62	6,04	4,60	1,78
0.10-0.20 m														
VE	5,78a	5,10b	0,16b	0,19a*	4,46b	4,44c	5,11c	7,60c*	8,47c	11,11c*	2,87c	2,50b	58,56b	66,69c*
AV	5,72a	5,08b	0,14b	0,10b	3,70c	4,47c*	4,05e	11,23a	8,37d	16,90a*	3,06c	2,98a	46,98d	64,37c*
CE	5,51a	5,03b	0,10c	0,10b	6,00a	6,15a	3,82e	10,07b*	9,66b	13,97b*	2,10a	0,99d	36,36e	71,42b*
NF	5,62a	5,05b	0,12b	0,10	4,00b	3,37d	5,66b	10,04b*	9,99b	13,93b*	2,40c	3,23a	55,41c	69,52b*
AV+NF	5,54a	5,09b	0,10b	0,10b	4,25b	5,47b*	5,20c	11,16a*	9,28c	13,77b*	5,70b	0,90d	52,80c	80,38a*
CE+NF	5,55a	5,34a	0,10b	0,10b	2,71d	3,51d*	4,67d	8,98c*	9,97b	13,27b*	3,31c	1,83c	45,24d	66,56c*
SPC	5,31b	5,36a	0,23a	0,17a	4,32b	5,47a*	7,34a	7,52c	10,79a	11,77c	1,31d	0,96d	67,09a	67,83c
CV (%)	4,47	1,11	12,12	8,60	6,25	7,42	5,85	7,06	4,88	4,99	13,45	11,15	4,40	3,89

VE= Vegetação Espontânea, AV= Aveia-Preta, CE= Centeio, NF= Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta + Nabo-Forageiro, CE+NF= Centeio + Nabo-Forageiro, SPC= Sistema de Preparo Convencional. CV= Coeficiente de Variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Skott-knott ($\alpha = 0,05$). *Médias de quatro repetições nas linhas comparando agregados e TFSA mostraram efeitos significativos pelo test t LSD a 5% de probabilidade para comparar os teores pH em água, Al⁺, H+Al, CTC efetiva, CTC pH 7,0, Saturação por Al (%) e V% entre agregados e TFSA

Os menores valores encontrados no SPC estão relacionados às práticas de revolvimento do solo que causam a quebra dos agregados, deixando a MOS exposta para ser rapidamente oxidada pelos microrganismos do solo (ANGHIONONI, 2007). Em estudo realizado na mesma área experimental, Santos *et al.* (2017), avaliando atributos químicos em agregados do solo, observaram que o SPDH promoveu incrementos nos valores de pH, nos teores trocáveis de Ca e Mg, e nos teores disponíveis de K, o que refletiu em melhorias na fertilidade do solo, em virtude da deposição do material vegetal sob o solo. No entanto, Higashikawa *et al.* (2019) destacam que para que ocorram aumentos nos teores de MOS e melhorias nos atributos do solo em SPDH de cebola no estado de SC, é importante que haja produção anual mínima de 10 toneladas por hectare de biomassa vegetal. Quanto maior a produção de biomassa vegetal e seu uso ao longo dos anos, maior a recuperação dos atributos do solo. Souza *et al.*, (2020), avaliando a produtividade de cebola ao longo dos anos na mesma área experimental, constataram um aumento na produtividade iniciando de 10 t há⁻¹ nos anos iniciais para um aumento de 15 até 24 10 t há⁻¹ após 7 anos.

Matéria Seca das Plantas de Cobertura e Produtividade da Cebola

A maior produção de MS de plantas de cobertura de inverno foi encontrada em todos os tratamentos do SPDH, exceto no tratamento VE (testemunha), que apresentou os menores valores. Os tratamentos manejados em SPDH com plantas de cobertura de verão (*Mucuna aterrima*) apresentaram uma média de 3,60 Mg ha⁻¹ e no inverno uma média de 4,25 Mg ha⁻¹. O tratamento SPC durante o inverno permanece em pousio, mas no verão é cultivado milho e nessa safra a produção de MS vegetal desse tratamento foi de 8.00 Mg ha⁻¹. Quando avaliada a produtividade da cultura da cebola, constatou-se que os tratamentos com plantas de coberturas pertencentes ao SPDH apresentaram os maiores rendimentos, quando comparados ao tratamento testemunha (VE) e SPC. O destaque foi para o tratamento AV+NF que apresentou produtividade de bulbos de cebola 48,78% maiores que o tratamento testemunha (VE), 16,30% superiores aos demais tratamentos do SPDH e 23,23% superiores ao tratamento SPC (Tabela 8).

A menor produção de MS no tratamento VE (testemunha) ocorreu, provavelmente, porque neste tratamento predominavam espécies de plantas espontâneas, como a língua-de-vaca (*Rumex obtusifolius*), a orelha-de-urso (*Stachys arvensis*) e o caruru (*Amaranthus lividus*), a tiririca (*Cyperus spp.*), a azedinha (*Oxalis corniculada*), o picão preto (*Bidens pilosa*) e o picão branco (*Galinsoga parviflora*) (VILLANOVA *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2018). Estas espécies

possuem, em geral, crescimento inicial rápido e baixa produção de massa seca da parte aérea, quando comparadas às plantas de cobertura utilizadas nos tratamentos conduzidos em SPDH (BITTENCOURT et al., 2013; MARTINS et al., 2016).

Tabela 8. Matéria seca (MS) de plantas de cobertura de inverno e verão, e rendimento de cebola na safra de 2016.

Tratamentos	Matéria Seca (Mg ha ⁻¹) ¹		Produtividade Cebola ----- (Mg ha ⁻¹) -----
	Inverno ²	Verão ³	
VE	1,41b	2,96c	16,4d
AV	3,79a	4,23b	21,5b
CE	4,13a	4,51b	21,7b
NF	3,77a	4,63b	19,3c
AV+NF	3,92a	4,24b	24,4 a
CE+NF	4,62a	4,93b	21,4b
SPC ⁴	-	8,00a	19,8c
CV (%)	23,47	17,44	9,08

VE= Vegetação Espontânea, AV=Aveia-Preta, CE=Centeio, NF=Nabo-Forageiro, CE+NF=Centeio+Nabo-Forageiro, AV+NF= Aveia-Preta+Nabo-Forageiro, SPC= Sistema Preparo Convencional. ⁽¹⁾Valores referentes a MS plantas de cobertura de inverno e verão. ⁽²⁾ Valores referentes a MS de plantas de cobertura de inverno. ⁽³⁾ Valores referentes a MS de Mucuna-Preta (*Stizolobium aterrimum*) no verão. ⁽⁴⁾ Valores de MS de Milheto (*Pennisetum glaucum*) durante o verão. Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Skott-knott a 5% de probabilidade de erro.

Já os maiores valores de MS encontrados nos tratamentos com plantas de coberturas no SPDH se relacionam ao crescimento e desenvolvimento das plantas de cobertura solteiras ou consorciadas que foram utilizadas durante este experimento. No caso da AV e CE, essas plantas possuem alta capacidade de perfilhamento e sistema radicular profundo, o que favorece a absorção de água e nutrientes e, por consequência, altas produções de MS (SOUZA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016). Nos tratamentos em que foi semeado Nabo-Forageiro, seja ele solteiro ou consorciado, os maiores valores de MS quando comparados ao tratamento testemunha, VE, pode ser atribuído ao seu rápido crescimento inicial e a uma maior ramificação da parte aérea da espécie em comparação com as espécies espontâneas no tratamento VE.

Entre as espécies de cobertura vegetal usadas durante o verão, o milheto utilizado no tratamento SPC apresentou maiores valores de MS vegetal quando comparado aos tratamentos pertencentes ao SPDH com Mucuna-preta (Tabela 8). Porém, esta maior produção de MS no verão não se refletiu em alta produtividade de cebola quando comparado a todos os tratamentos, sendo superior apenas à VE e igual à produtividade de cebola do tratamento com NF. As maiores produtividade de cebola no SPDH são decorrentes do manejo empregado, sendo que o revolvimento mínimo do solo associado ao manejo das plantas de cobertura sem o uso de

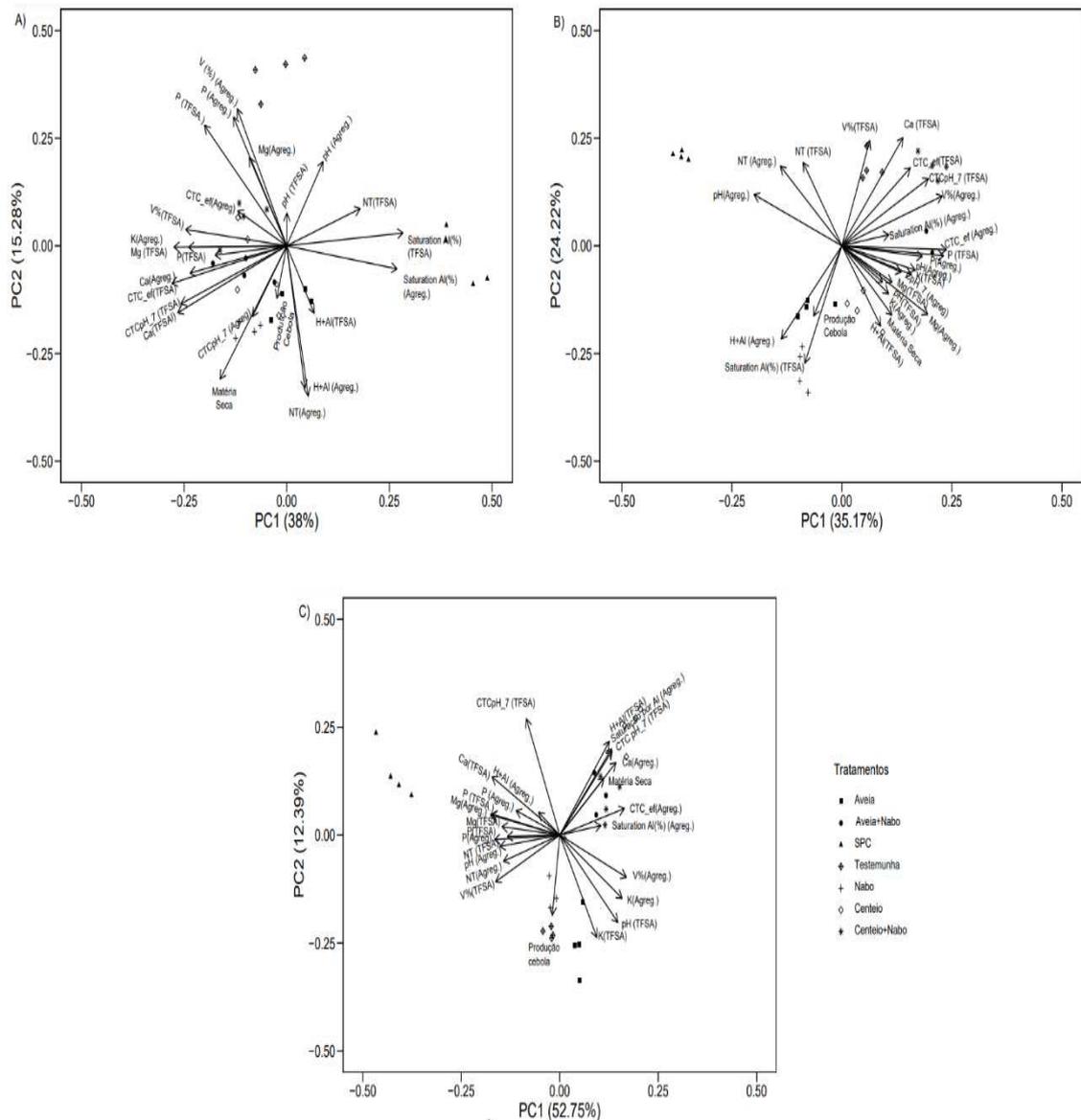
dessecantes químicos e adubos solúveis, está favorecendo uma melhor ciclagem de nutrientes, com melhoria da fertilidade do solo, pois na camada superficial (0-5 cm) há maiores valores de P e K (Figura 4); Ca e Mg (Figura 5) e maior saturação por bases (Tabela 7) no SPDH em relação ao SPC. Os sistemas conservacionistas, como é o caso do SPDH, com o uso de plantas de cobertura solteiras e consorciadas propiciam adequada produtividade das culturas ao longo dos anos, como observado com a cultura da cebola (Tabela 8). Isso ocorre na medida que o sistema se consolida, e a produção de MS das plantas de cobertura aumenta por meio da liberação gradual de nutrientes, o que foi observado nos estudos desenvolvidos na área (SOUZA et al., 2021; SANTOS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017). Avaliando o uso de diferentes plantas de cobertura (Aveia-Preta, Centeio e Nabo-Forageiro) e a quantidade de MS produzida por essas espécies nas propriedades químicas do solo e produtividade da cebola no mesmo experimento do presente estudo, Souza et al. (2021) observaram que a deposição dessas culturas na superfície do solo, somado aos resíduos da cultura da cebola, melhoraram e/ou mantiveram as propriedades químicas do solo, aumentaram a produção total de cebola e a produção de cebolas de maior diâmetro, e que o sistema se estabilizou ao longo do tempo, quando comparado ao tratamento controle, somente com vegetação espontânea, corroborando com os dados observados neste estudo.

Os maiores valores de produtividade de cebola no solo no tratamento AV+NF, podem ser atribuídos à maior quantidade de P acumulado na parte aérea do nabo-forrageiro e à sua rápida liberação, quando os resíduos estão em decomposição na superfície do solo (HEINZ et al., 2011), contribuindo para esses incrementos. No entanto, a aveia é uma espécie que possui elevada capacidade de absorção de quantidades de K das camadas mais profundas do solo acima de sua demanda, acumulando-o na parte aérea em organelas como o vacúolo (BRUNETTO et al., 2005), que será liberado lentamente durante o ciclo da cebola, se comparado ao nabo (CRUSCIOL et al., 2005).

Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados dos tratamentos no SPDH e SPC.

Nas três camadas avaliadas constatou-se a formação de três grupos bem distintos e visivelmente de lados opostos, sendo dois grupos compostos pelos tratamentos do SPDH e um formado com o SPC, que se isolou dos demais tratamentos (Figura 6). A análise de cluster confirma esse “isolamento” do SPC em relação ao SPDH nas três camadas avaliadas (Figura 7).

Figura 6. Diagrama de ordenação produzido por análise de componentes principais dos dados coletados dos tratamentos no SPDH e SPC de cebola nas camadas de 0-5 (Figura 3a), 5-10 (Figura 3b) e 10-20 cm (Figura 3c).



NT(Agreg): Teores de Nitrogênio Total em amostras de agregados do solo, NT(TFSA): Teores de Nitrogênio Total em amostras de TFSA, P(Agreg): Teores de Fósforo em amostras de agregados do solo, P(TFSA): Teores de Fósforo em amostras de TFSA, K(Agreg): Teores de Potássio em amostras de agregados do solo, K(tfsa): Teores de Potássio Total em amostras de TFSA, Ca(Agreg): Teores de Calcio em amostras de agregados do solo, Ca(TFSA): Teores de Calcio em amostras de TFSA, Mg(Agreg): Teores de Magnésio amostras de agregados do solo, NT(TFSA): Teores de Magnésio amostras de TFSA, pH (Agreg): Teores de pH em amostras de agregados do solo, pH (TFSA): Teores de pH em amostras de agregados do solo, H+Al⁺³(Agreg): Teores de H+Al⁺³ em amostras de agregados do solo, H+Al⁺³(TFSA): Teores de H+Al⁺³ em amostras de TFSA, CTC_ef(Agreg): Teores de CTC efetiva em amostras de agregados do solo, CTC_ef(TFSA): Teores de CTC efetiva em amostras de TFSA, CTCpH_7(Agreg.): Teores de CTC pH 7,0 em amostras de agregado do solo,

CTCpH_7(TFSA): Teores de CTC pH 7,0 em amostras de TFSA, Saturação por Al (%) (Agreg.): Teores de Saturação por Al em amostras de agregado do solo, Saturação por Al (%) (TFSA): Teores de Saturação por Al em amostras de TFSA. V (%) (Agreg.): Teores de V% em amostras de agregado do solo. V (%) (TFSA): Teores de V% em amostras de agregado do solo.

Na camada de 0,00-0,05 cm, a saturação por Al (%) nos agregados e TFSA e o NT na TFSA são as principais variáveis relacionadas ao SPC, sendo este resultado decorrente dos maiores valores de Al e NT no SPC (Tabela 6). Comparando os tratamentos do SPDH, na camada de 0-5 cm foi possível evidenciar a separação do tratamento CE dos demais que utilizam plantas de coberturas, evidenciando sua influência nos seguintes parâmetros: P nos agregados, K na TFSA, V% e Mg nos agregados. A análise de cluster evidencia a separação do CE dos demais tratamentos no SPDH (Figura 7A). Também é possível destacar a formação de um terceiro grupo, evidenciando a influência dos tratamentos CE+NF, VE, NF, AV, AV+NF, CE nos demais parâmetros avaliados (CTC efetiva nos agregados e TFSA, P, V%, Mg e pH na TFSA, Ca, CTC pH 7,0, H+Al nos agregados e TFSA, na MS vegetal e na Produtividade de Cebola). Este resultado corrobora com os maiores valores dessas variáveis nos tratamentos com plantas de cobertura (Figura 4 e 5, Tabela 7), assim como reflete nos maiores rendimentos da cebola nos tratamentos sob SPDH com uso de plantas de cobertura (Tabela 8).

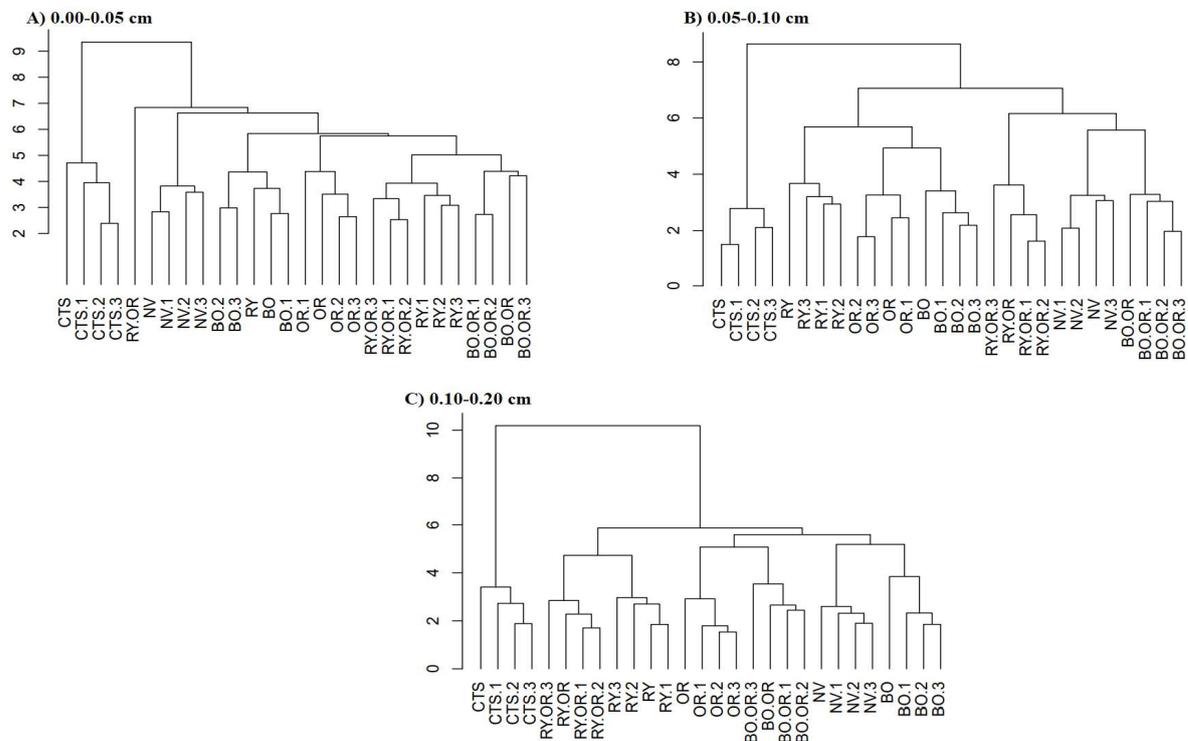
Na camada de 0,05-0,10 m, o SPC separa-se do SPDH e apresenta alta relação com os teores de NT na TFSA e nos agregados e pH nos agregados (Figura 6B), corroborando com os maiores teores de NT evidenciados no SPC (Tabela 5). Entre os tratamentos no SPDH, destaca-se a formação de dois grupos: o consórcio de CE+NF sendo influenciado pelas variáveis V% nos agregados e na TFSA, Ca nos agregados, CTC pH 7,0 na TFSA, CTC efetiva na TFSA e H+Al nos agregados do solo. O segundo grupo destaca os cultivos solteiros de VE, CE, AV, NF e o consórcio de AV+NF influenciando nas variáveis Saturação por Al (%) na TFSA, Matéria Seca, Produtividade de Cebola, P nos agregados e TFSA, K, Mg e Ca nos agregados e na TFSA. A análise de cluster evidenciou a separação dos grupos descritos anteriormente, com destaque para a separação do SPC do SPDH e, do consórcio de CE+NF dos demais tratamentos em SPDH (Figura 7B).

Na camada de 0,10-0,20 m de profundidade, também foi possível observar a separação de um grupo em que o SPC apresentou influência sob os seguintes tratamentos: CTC pH 7,0 nos agregados, P e N nos agregados e na TFSA, H+Al e pH nos agregados, V% e Ca na TFSA. Um segundo grupo foi composto por CE+NF e CE e influenciou os teores de Ca nas amostras de agregados. Um terceiro grupo foi formado por CE, AV+NF, CE+NF e VE influenciando os

teores de Al, o tratamento AV+NF influenciando os teores de pH, K nos agregados e TFSA e os tratamentos VE e NF influenciando a produção de MS de plantas de cobertura, e o tratamento NF a produtividade de cebola.

Nesse sentido, os resultados encontrados nessa análise (Figura 6) também indicam que o uso de plantas de cobertura solteiras e consorciadas (Aveia-Preta, Centeio, Nabo-Forrageiro, Aveia-Preta+Nabo-Forrageiro, Centeio+Nabo-Forrageiro) foram eficazes para manutenção dos atributos químicos como N, P, K, Ca e Mg e os atributos de fertilidade do solo. Também foi possível constatar que a produtividade da cebola foi maior nos tratamentos manejados no SPDH.

Figura 7. Dendrograma de Classen dos dados coletados dos tratamentos no SPDH e SPC de cebola nas camadas de 0-5 (Figura A), 5-10 (Figura B) e 10-20 cm (Figura C).



NV (Vegetação Espontânea), BO (*Avena strigosa*), RY (*Secale cereale*), OR (*Raphanus sativus*), BO+OR (*A. strigosa* + *R. sativus*), RY+OR (*S. cereale* + *R. sativus* e CTS (Sistema de Preparo Convencional).

Por meio da ACP e da análise de cluster demonstra-se claramente a separação dos sistemas de manejo (SPC e SPDH) de produção de cebola. No SPDH constata-se uma significativa correlação entre os diferentes tipos de plantas de cobertura e os atributos químicos do solo (Figura 6), assim como a separação de consórcios de cultivos solteiros (Figura 7). O padrão de agrupamento e separação dos tratamentos evidenciados pela análise multivariada (Figura 6 e 7) corrobora com os resultados encontrados na análise uni variada (Tabela 6, 7 e 8; Figuras 4 e 5).

Em estudo na mesma área experimental avaliando o uso de plantas de cobertura e sua influência na atividade física e química do solo, Loss et al. (2015), também constataram por meio de ACP a formação de formação de três diferentes grupos: um relacionado ao SPDH, outro ao SPC e o terceiro à área de mata (área referência avaliada pelos autores do artigo). Com essas análises constataram um efeito negativo do SPC sobre os parâmetros de agregação e, em contrapartida, o efeito positivo das plantas de cobertura no SPDH quanto aos parâmetros químicos físicos e biológicos avaliados. A similaridade desses tratamentos do SPDH nesse estudo indica que o uso das plantas de cobertura proporciona incrementos na cobertura vegetal, o que impede a ação direta de gotas de chuva sobre o solo e mantém a umidade e a temperatura mais uniforme (PANACHUCKI et al., 2011), e com isso influencia nas condições ideais para atividade física, química e biológica do solo (LOSS et al., 2015).

6.4 CONCLUSÕES

O SPDH de cebola, em geral, o propicia melhorias nos atributos de fertilidade do solo em todas as camadas avaliadas, nos agregados e TFSA e na produtividade da cebola. Destaca-se predominantemente os maiores teores de NT nos agregados nos tratamentos do SPDH, de P nos agregados e TFSA, de K na TFSA, de Ca e Mg nos agregados e TFSA.

O consórcio de AV+NF no SPDH aumenta os teores de P na TFSA (0-10 cm) e a produtividade da cebola.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq nº 487492 / 2013-7. Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de

doutorado da primeira autora e ao CNPQ pelas bolsas de produtividade em pesquisa dos autores Dr. Jucinei José Comin, Dr. Claudio R. F. Souza Soares, Dr. Cledimar Rogério Lorenzi, Dr. Arcângelo Loss e Dr. Paulo Emilio Lovato.

Os autores também agradecem à Estação Experimental (EPAGRI) de Ituporanga, Santa Catarina, Brasil, pela área experimental e auxílio técnico, em especial ao Pesquisador Claudinei Kurtz.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, MIGUEL A.; LANA, MARCOS A.; BITTENCOURT, HENRIQUE V.; KIELING, ANDRÉ S.; COMIN, JUCINEI J.; LOVATO, PAULO E. Enhancing Crop Productivity via Weed Suppression in Organic No-Till Cropping Systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 35, p. 855-869, 2011.

ALVARENGA, R. C. et al. **Plantas de Cobertura de solo para Sistema de Plantio Direto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.25-36, jan. 2001.

ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; VASCONCELLOS, C. A.; PITTA, G. V. W.; FRANÇA, C. C. M. Cinética de absorção de fósforo e crescimento do sistema radicular de genótipos de milho contrastantes para eficiência a fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, MG, v. 1, n. 1, p. 85-92, 2002.

ANGHIONONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto In: Novais, R. F.; Alvarez, V.H.; Barroz, N.F. et al. (Eds.) Fertilidade do Solo. Viçosa : **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 873-928, 2007.

BITTENCOURT, H. V. H.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J.; LANA, M. A.; ALTIERI, M. A.; COSTA, M. D. GOMES, J. C. Effect of Winter Cover Crop Biomass on Summer Weed Emergence and Biomass Production. **Journal of Plant Protection Research**, v. 53, p. 248-252, 2013.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.

BORTOLINI, J.B.; SOARES, C.R.F.S.; MULLER, M.J.; FERREIRA, G. W.; MEYER, E.; VIEIRA, C. K.; SOUZA, M.; KURTZ, C.; LOURENZI, C.R.; LOVATO, P.E.; LOSS, A.; COMIN, J.J. Soil Carbon Glomalin, And Aggregation in Onion Crop Under No-Tillage With Cover Crops or Conventional Tillage Systems for Eight Years. **Journal of Agricultural Studies**, v.9, p.130-150, 2021.

CARVALHO, A. M. **Plantio direto com qualidade no Cerrado**. Embrapa Cerrados. 2010

CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. **Adv Soil Sci**, v. 26, p. 97-165, 1996.

COMIN J.J.; BARLOY J.; HALLAIRE V.; ZANETTE F.; MILLER P.R.M. Effects of aluminium on the adventitious root system, aerial biomass and grain yield of maize grown in the field and in a rhizotron. **Exp Agric**. v.42, p.351-366, 2006.

COMIN, J. J.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, L. H.; KOUCHER, L. P.; MACHADO, L. N.; SANTOS, E. ; MAFRA, A. L. ; KURTZ, C. ; SOUZA, M. ; BRUNETTO, G. ; LOSS, A. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil & Tillage Research**, v. 184, p. 195-202, 2018.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 376 p, 2016.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. B.; MOREIRA, J. A. 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, n.10, p.1021–1029, 2011.

CURAQUEO, G.; BAREA, J.S; ACEVEDO, E.; RUBIO, R. E CORNEJO, P. Effects of tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in central Chile. **Soil and Tillage Research**, v. 113, p. 11-18, 2011.

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, p.1714-1723, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 312p, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 1997. **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** – 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 212p

EPAGRI/CEPA. Boletim Agropecuário. Junho/2019 (Epagri. Documentos, 295). Florianópolis, 48p.

FAVARATO, L. F. et al. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável.** (RBAS), v. 5, n. 2, p. 19-28, 2015.

FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, L. A.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção.** Expressao popular: São Paulo, 2019.

FERREIRA P.A.A.; GIROTTO E; TRENTIN G.; MIOTTO A.; MELO G.W.; CERETTA C.A.; KAMINSKI J.; FRARI B.K.D.; MARCHEZAN C.; SILVA L.; FAVERSANI J.C.; BRUNETTO G. Biomass decomposition and nutrient release from black oat and hairy vetch residues deposited in a vineyard. **Rev Bras Cienc Solo.** v,38, p.1621-1632, 2014.

FERREIRA, L. B.; LOSS, A.; GIUMBELLI, L. D.; VENTURA, B.; SOUZA, M.; MAFRA, A. L.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Brunetto, G..Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil e Tillage Research,** p. 1-10, 2018.

FRANCHINI J.C.; MIYAZAWA M.; PAVAN M.A.; MALAVOLTA E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesq Agropec Bras.** v34, p.2267-2276, 1999.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; WILDNER, L. P.; DENARDIN, R. B. N. Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. **Revista Biotemas,** Florianópolis, v. 22, n. 2, p. 45-53, 2009.

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.

GIUMBELLI, L. D.; LOSS, A.; VENTURA, B. S.; DOS SANTOS JUNIOR, E.; ALMEIDA, J.; PICCOLO, M. C.; MAFRA, A. L.; K., C.; BRUNETTO, G. ; COMIN, J. J. Aggregation index, carbon, nitrogen, and natural abundance of ¹³C and ¹⁵N in soil aggregates and bulk soil cultivated with onion under crop successions and rotations. **Soil Research**, v. 58, p. 622-635, 2020.

HIGASHIKAWA, F.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R. **Conceito de Fertilidade do Solo em SPDH**. in: Sistema de plantio direto de hortaliças - método de transição para um novo modo de produção. Editora Expressão Popular. 432p., 2019.

JÚNIOR, V.J. Sistema de plantio direto agroecológico de cebola e emissão de gases de efeito estufa. 2017. **Dissertação** (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina. 83p., 2017.

KAHLON, M. S.; LAL, R.; ANN-VARUGHESE, M. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil & Tillage Research, Amsterdam**, v. 126, p. 151-158, 2013.

LÁZARO, R. L.; COSTA, A. C. T.; SILVA, K. F.; SARTO, M. V. M.; DUARTE JÚNIOR. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, nº 1, p. 10-17, 2013.

LIU, T.; CHEN, X.; HU, F.; RAN, W.; SHEN, Q.; LI, H.; WHALEN, J. K. Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: evidence from a meta-analysis of nematode communities. **Agric Ecosyst Environ**, v. 232, p. 199–207, 2016.

LOSS, A. et al. Rizosfera e as reações que ocorrem no seu entorno In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. (Org.). **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, p. 175-199, 2019.

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

LOSS, A.; FERREIRA, L. B. ; GONZATTO, R. ; GIUMBELLI, L. D. ; MAFRA, A. L. ; GOEDEL, A. ; KURTZ, C. Efeito da sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo

após sete anos de cultivo com cebola. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 16587-16606, 2020.

MADEIRA, N.R.; LIMA, C.E.P.; CASTRO E MELO, R.A.; FONTANELLE, M.R.; SILVA, J.; MICHEREFF FILHO, M.; GUEDES, I.M.R. **Cultivo do tomateiro em Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**. Brasília, DF: Embrapa. 2019.

MARCHNER, H.; MARCHNER, P. Marscher's mineral nutrition of higher plants. 3 rd. ed. Amsterdam: **Elsevier, Academic Press**, 2012, 651p

LOSS, A.; GONZATTO, R.; STEFANO, C.; MIMMO, T.; PII, YOURY; VENTURA, B.S; GIUMBELLI, L.D; SOARES, C.R.F.SOUZA; PAULA; B. DE; BRUNETTO, G. Rizosfera e as reações que ocorrem no seu entorno. . IN: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, L. A.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. Expressao popular: São Paulo, 2019.

MAFRA, L. A.; COMIN, J. J.; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V. H.; LOVATO, P. E.; WILDNER, L. P. Iniciando o Sistema de plantio direto de hortaliças: adequações do solo e práticas de cultivo. IN: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, L. A.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. Expressao popular: São Paulo, 2019.

MARTINS, R. P.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; SOARES, C. R. F.; COUTO, R. 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, p. 587-596, 2014.

MENEZES JUNIOR, F. O. G.; GONÇALVES, P. A. S.; VIEIRA NETO, J. Produtividade da cebola em cultivo mínimo no sistema convencional e orgânico com biofertilizantes. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 475-481, 2014.

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

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

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2006.

NICHOLS, C. I.; ALTIERI, M. A.; VAZQUEZ, L.; VENTURA, B. S.; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J. Sistema de plantio direto de hortaliças: princípios de transição para sistemas de produção ecológicos e redesenho de propriedades familiares. IN: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, L. A.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. Expressão popular: São Paulo, 2019.

OLIVEIRA, R. A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KURTZ, C.; MULLER, V. M.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura e seus efeitos em atributos químicos do solo e produtividade da cebola. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 40, p.1-17, 2016.

OLIVEIRA, R. A. et al. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 1, p. 1-16, 2017.

OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J., MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p. 1079-1087, 2002.

PANACHUCKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S. DE; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35(5), p. 1777–1786, 2011.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

RIBEIRO, P.H.; DOS SANTOS, J.V.V.M.; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C.A.D.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, 2011.

ROTTERS, D. F. Atributos do Solo em Sistema de Plantio Direto de Hortaliças em campo e casa de vegetação. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina.136 p., 2020.

SANTOS, L. H. ; LOSS, A. ; LOURENZI, C. R. ; SOUZA, M. ; GOMZATTO, R. ; KURTZ, C. ; BRUNETTO, GUSTAVO ; COMIN, J. J. Nitrógeno total y sustancias húmicas en agregados del suelo cultivado con cebolla bajo siembra directa y preparación convencional. **Revista Colombiana de Ciências Horticolas**, v. 12, p. 166-174, 2018.

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 dystrochep cultivated with onion under no-till and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, 2017.

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.

SIX J.; CONANT R.T.; PAUL E.A.; PAUSTIAN K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil** v.241, p.155–176, 2002.

Soil Survey Staff Soil Taxonomy: a Basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed Washington, DC:US Government Printing Office; 2006.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; COSTA, C. H. M.; NETO, J. F.; CASTRO, G. S. A. Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalaria e milho, cultivados solteiros e consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 10, p. 1462-1470, 2012.

SOUZA, M.; MULLER J.R.; V.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; COUTO, R.R.; COMIN, J. J. weed Emergence in a Soil with Cover Crops in an Agroecological No-Tillage System. **Revista Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.

SOUZA, M.; MULLER JUNIOR, V.; KURTZ, C.; VENTURA, B. S.; LOURENZI, C. R.; LAZZARI, C. J. R.; FERREIRA, G. W.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; COMIN, J. J. Soil chemical properties and yield of onion crops grown for eight years under no tillage system with cover crops. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104897, 2021.

TEDESCO, M.J; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Boletim Técnico, 5), 1995.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEIREIRA, M. G.; PIMENTA, M. G. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 867-876, 2011.

TIECHER, T.; SANTOS, D.R.; KAMINSKI, J.; CALEGARI, A. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 271-281, 2012.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. (Tradução de Durval Dourado Neto e Manuela N. Dourado. São Paulo: Andrei Editora, 2007.

URIBE, N.; CORZO, G.; QUINTERO, M.; VAN GRIENSVEN, A.; SOLOMATINE, D. Impact of conservation tillage on nitrogen and phosphorus runoff losses in a potato crop system in Fuquene watershed, Colombia. **Agricultural Water Management**, v.209, p.62-72, 2018.

VARGAS, M. M. M. **Atributos químicos e biológicos do solo e rendimento da cebola em sistema de plantio direto após cultivo com diferentes plantas de cobertura de inverno**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Florianópolis, SC, 37 f., 2012.

VENTURA, B. S. ; SOUZA, M. ; SOARES C R F S ; LOVATO, P. E. ; MEYER. E ; COMIN, J.J. ; SCARSANELLA, J. ; SILVA, A. . Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in an onion no-tillage system. **Revista Ciência Rural**, 2021.

VILLANOVA, C. C.; COMIN, J. J.; KURTZ, C.; MULLER JUNIOR, V.; URIARTE, J. F.; VENTURA, B. S.; SOUZA, M.; LOVATO, P. E.; LEGUIZAMON, E. S.; BRUNETTO, G. Interferência de plantas de cobertura sobre a incidência de plantas invasoras e a produção de cebola sob sistema de plantio direto. **Scientia Agrária**, v. 15, n.1, p. 9-14, 2014.

YODER, 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(337), p.51., 1936.

7. CAPÍTULO 3: Dinâmica da atividade microbiana do solo sob sistema de plantio direto agroecológico de cebola com diferentes plantas de coberturas

RESUMO

O uso de espécies de coberturas vegetais no sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) interfere nos atributos do solo e isso pode influenciar na produtividade das culturas agrícolas. O grau de interferência está relacionado ao tempo de adoção das espécies vegetais empregadas, sendo os atributos biológicos considerados indicadores sensíveis para os parâmetros de qualidade do solo. Neste estudo avaliou-se os efeitos das plantas de cobertura sobre a atividade dos microrganismos do solo por meio da avaliação da biomassa microbiana, a respiração basal e a atividade enzimática do solo no SPDH da cebola comparado ao SPC (Sistema de Preparo Convencional). O experimento foi implantado na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), em Ituporanga, Santa Catarina (SC) em delineamento experimental em blocos ao acaso com oito repetições. Os tratamentos avaliados foram: testemunha (vegetação espontânea), centeio, nabo-forrageiro, e consórcio de Nabo-Forageiro+Centeio e SPC (milheto incorporado). As plantas de cobertura no SPDH foram acamadas e em seguida foi realizado o plantio das mudas de cebola, enquanto no SPC o milheto foi incorporado com arado de discos. Foram realizadas 6 coletas de solo para avaliação da atividade microbiana, 3 durante o ciclo das plantas de cobertura e 3 durante o cultivo da cebola na profundidade de 0-10 cm. As amostras foram coletadas e logo em seguida armazenadas sob refrigeração a 5° C até as análises, que foram: Respiração Basal do Solo (RBS), Carbono da Biomassa Microbiana (CBM), Quociente Metabólico (qCO_2), Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM) e Atividade Enzimática Total do Solo por meio da análise da Hidrólise do Diacetato da Fluoresceína (DAF). Com base nos resultados obtidos por esse estudo constatou-se que os valores da RBS foram duas vezes menores nos tratamentos do SPDH quando comparado ao SPC. O mesmo foi observado quanto aos teores de qCO_2 . No entanto, avaliando os teores de CBMS, o tratamento CE apresentou teores 60%, 35% e 20 % superiores consecutivamente aos 0DAS, 58DAS, 40DAP. E o tratamento NF apresentou destaque aos 40 DAP com teores de CBM 25% superiores aos demais tratamentos. Já NBMS, apresentou valores 40% superiores no tratamento CE+NF aos 80 DAS. Também foi possível constatar que os maiores teores de DAF foram encontrados no tratamento CE+NF aos 0DAS, 58DAS, 80DAS. Esses resultados evidenciam que a adoção de plantas de cobertura em SPDH favorece a atividade biológica do solo, através do uso das espécies de plantas de cobertura e as

promovidas pelo SPDH como revolvimento mínimo e restrito as linhas de cultivo e a erradicação do uso de produtos agroquímicos, mostrando que o SPDH é uma alternativa para melhoria dos atributos de qualidade do solo ao longo dos anos.

Palavras-Chave: Atributos Biológicos do Solo. Biomassa Microbiana. Respiração Basal. Hidrólise do Diacetato da Fluoresceína.

7.1 INTRODUÇÃO

A cebola é uma hortaliça de grande importância econômica mundial e no Brasil, sendo a terceira cultura oleácea mais produzida no país (IBGE, 2020). Santa Catarina (SC) é o estado com uma produção anual de 389 mil toneladas conforme dados da safra de 2020 (EPAGRI/CEPA, 2020). No entanto, a maior parte dessa produtividade é obtida por meio do Sistema de Preparo Convencional (SPC), que se caracteriza por promover excessivo revolvimento do solo com uso de arações e gradagens. Essas práticas ocasionam grande impacto ambiental no sistema de cultivo afetando, entre outros, os atributos biológicos do solo (HIGASHIKAWA et al., 2019).

O uso de plantas de cobertura em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) é caracterizado pela deposição dos resíduos das plantas de cobertura na superfície do solo, influenciando no acúmulo de matéria orgânica (MO) e, conseqüentemente, nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (OLIVEIRA et al., 2016; SANTOS et al., 2018; FERREIRA et al., 2018).

Existem importantes indicadores da qualidade do solo que estão relacionados à atividade microbiológica do solo, incluindo a biomassa microbiana (BMS) e respiração basal do solo (RBS), as quais têm relação com a decomposição dos resíduos das plantas perante as mudanças no meio, como umidade e temperatura (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; MARTINEZ-SALGADO et al., 2010). As raízes das plantas de cobertura também são importantes indicadores de qualidade do solo. Através das raízes, ocorre a aproximação das partículas de solo por intermédio da absorção de água e distribuição dos exsudatos do solo que estimulam a atividade microbiana (SILVA & MIELNICZUK, 1997).

Em estudo realizado por Dube et al. (2012) constatou-se que o uso de plantas de cobertura e a rotação de milho e ervilhaca e milho e aveia aumentam a BMS e a atividade

enzimática. Em outro estudo também se constatou altos valores de BMS e atividade enzimática em sistemas de rotação de aveia e ervilhaca, e segundo os autores, isso pode ter ocorrido por intermédio da retenção de umidade e temperatura favorável para a decomposição dos resíduos (SPEDDING et al., 2004). O quociente metabólico (qCO_2) é um índice obtido por meio da razão entre a RBS e a BMS e é também um importante indicador do grau de estresse da comunidade microbiana do solo frente às práticas de manejo nos sistemas de produção agrícola (ANDERSON & DOMSCH, 2010).

A atividade das enzimas do solo é importante e sensível indicador que permite avaliar as mudanças nos sistemas de cultivo a um curto prazo (CHAER & TÓTOLA, 2007). A avaliação da atividade enzimática total do solo pode ser determinada por meio da Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (DAF). Neste método, o substrato é hidrolisado pelas proteases, lipases e esterases, e sua quantificação é avaliada da atividade microbiana total do solo (SCHÜRER & ROSSWALL, 1982). Estudo avaliando a atividade enzimática do solo em sistemas de plantio direto (SPD) com uso de plantas de cobertura e SPC sem uso de plantas de cobertura, verificou-se maior atividade enzimática com as espécies vegetais em decomposição sob o solo no SPD (ACOSTA-MARTINEZ & TABATABAI, 2001).

Em diversos estudos em que se avaliou os atributos químicos e biológicos solo constatou-se que a qualidade do solo é superior em sistemas de manejo com o uso de plantas de cobertura e quando a mobilização da área é restrita em comparação ao preparo convencional do solo (OLIVEIRA et al., 2016; BASSEGIO et al., 2019; MARINARI et al., 2006; SOUZA et al., 2020).

Entretanto, esses estudos avaliando atributos biológicos em sistemas de cultivo agroecológico de cebola de longa duração são escassos. O presente estudo investigará uma área que apresenta histórico de mais de vinte anos de cultivo de cebola em SPC até 1996. Assim sendo, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos das plantas de cobertura sobre a biomassa microbiana, respiração basal e atividade enzimática do solo no SPDH da cultura da cebola comparado ao SPC.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

Histórico da Área

Vide Item 6.2

Tratamentos Avaliados

Os tratamentos no SPDH avaliados foram: Testemunha; *Secale cereale* (centeio - CE) (120 kg ha⁻¹ de semente); *Raphanus sativus* (nabo forrageiro - NF) (120 kg ha⁻¹ de semente); (AV+NF); *S. cereale* (60 kg ha⁻¹ de semente) +*R. sativus* (10 kg ha⁻¹ de semente) (CE+NF). Para fins de comparação com o SPDH, também foi mantido um tratamento sob SPC, no qual a cebola foi cultivada em sucessão com *Pennisetum glaucum* (milheto) no verão. No SPC foram feitas aração, gradagem e escarificação do solo. Na Coleta das amostras, o SPC apresentava ± 40 anos

Ao longo da condução experimental as espécies de inverno foram semeadas a lanço sobre a superfície do solo e, em seguida, uma máquina semeadora de plantio direto de cereais foi passada duas vezes na área para promover uma leve incorporação das sementes no solo. A área experimental não recebeu nenhum tipo de adubação, irrigação ou trato cultural durante o ciclo das plantas de cobertura de inverno, sendo as quantidades de sementes das plantas de cobertura calculadas com base nos valores mais elevados da recomendação de Monegat (1991) + 50%. Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada unidade experimental composta de parcelas com 25 m² (5 x 5 m), perfazendo uma área experimental de 1200 m².

Dados de Precipitação e Temperatura Durante as Coletas

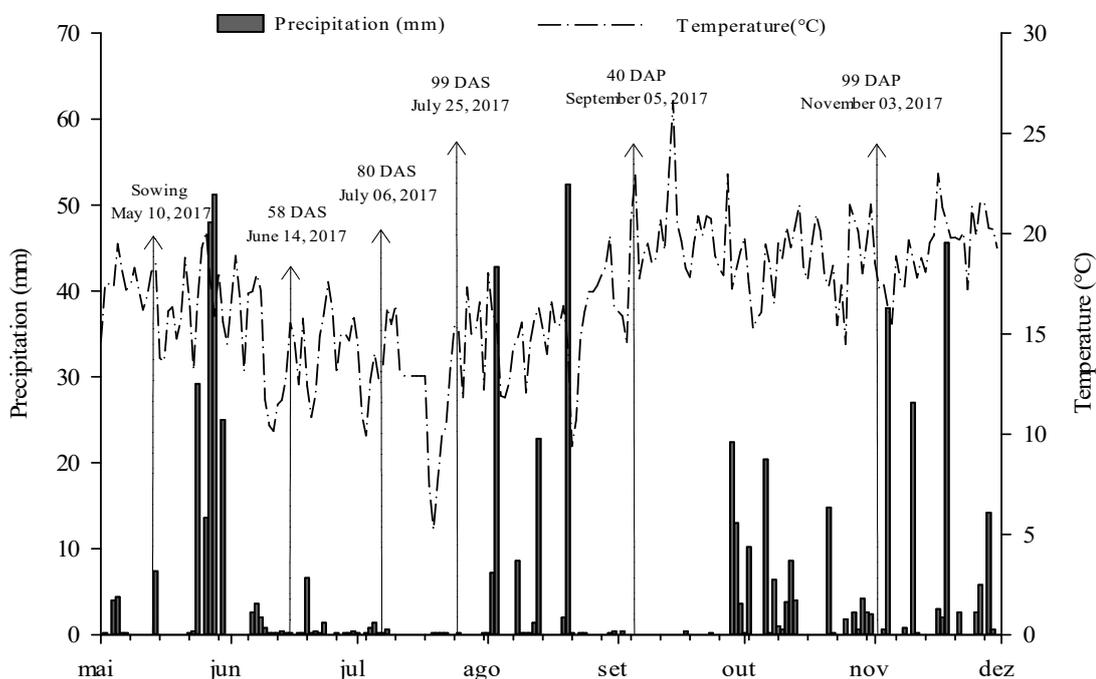


Figura Complementar: Figura com valores de Precipitação e umidade dos meses de junho até novembro de 2017 no experimento com Sistema de Plantio Direto Agroecológico de Cebola.

Coleta de Plantas de Cobertura

Em maio, junho e julho de 2017, o que corresponde a 0, 58, 80 e 99 dias após a semeadura (DAS) das espécies de plantas de cobertura, respectivamente. Foram coletadas três sub amostras de biomassa das plantas de cobertura por parcela, usando um quadro de 0,5 x 0,5 m (0,25m²). A biomassa coletada foi seca em estufa com ventilação de ar forçado a 65 °C até peso constante e, logo depois, pesadas para estimar a produção de matéria seca (MS) por hectare.

Coleta de Solo para Análises Microbiológicas

Para as análises microbiológicas foram realizadas 6 coletas de solo. No início antes da semeadura das plantas de cobertura (0 DAS); aos 58 dias após a semeadura das plantas de cobertura (58 DAS); aos 80 DAS; e aos 99 DAS após o cultivo das plantas de cobertura, no mesmo dia do acamamento das espécies. A 5ª e 6ª Coletas foram realizadas durante o cultivo de cebola, aos 40 dias após o plantio da cebola (40 DAP) no perfilhamento da espécie e aos 99 DAP, antecedendo a colheita.

As amostras foram coletadas em 8 repetições na profundidade de 0-10 cm com auxílio de um trado calador, em seguida foram peneiradas em malha 2 mm e conservadas em geladeira (refrigerada a 4°C) até a realização das análises. Para determinação do teor de umidade, para as avaliações microbiológicas, foram retiradas uma porção de aproximadamente 10 g de solo, seca na estufa a 105°C por 48 horas.

Análises Microbiológicas

Atividade Global da Atividade Enzimática do Solo: Determinação da Hidrólise do Diacetato da Fluoresceína (DAF)

A determinação da hidrólise da DAF foi realizada por meio de espectrofotometria, segundo Dick (1996). Foi pesado 1,0 g de solo em triplicatas. As amostras de solo foram acondicionadas em tubos tipo Falcon com capacidade de 50 mL, incubadas a 37 °C em agitação durante duas horas, com 12,5 mL de solução de Diacetato de Fluoresceína (4,8 mmol L⁻¹) e 5 mL de acetona para realizar a paralização da reação.

Na sequência a amostra foi centrifugada a 4000 rpm durante 5 minutos. O sobrenadante foi filtrado e a absorbância do extrato foi medida a 490 nm. Os resultados foram expressados em mg Fluoresceína (F) g solo seco⁻¹ h⁻¹.

Respiração Basal do Solo

A respiração basal do solo (RBS) foi avaliada pelo método de incubação das amostras para captura de CO₂ em NaOH (0,2 mol L⁻¹) durante 6 dias, utilizando-se 50g de solo incubados no escuro e à temperatura 27 °C, segundo a metodologia proposta por Alef & Nanipierri. Após

foi realizada a extração desse material com solução K_2SO_4 para a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana, Quociente Metabólico e Nitrogênio da Biomassa Microbiana do solo.

Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana do Solo (C-BM) foi utilizado o método de fumigação-extração (VANCE et al., 1987) o qual é recomendado para solos brasileiros segundo KASCHUK et al. (2010). A extração do carbono para cada amostra foi obtida com K_2SO_4 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, utilizando 8 mL de alíquota e o carbono orgânico dos extratos foi determinado pela digestão com 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ (66,7mM), 10 mL H_2SO_4 concentrado e 5 mL H_3PO_4 concentrado; o excesso de $K_2Cr_2O_7$ e determinado pela titulação com $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, usando difenil amina como indicador.

Quociente Metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) foi obtido pela razão entre a respiração basal do solo e a biomassa microbiana, sendo os resultados expressos em $\mu\text{g CCO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{ BMS-C h}^{-1}$ metodologia proposta por ANDERSON & DOMSCH (2003).

$$qCO_2 = \frac{RBS}{CBM}$$

RBS - Taxa de respiração basal do solo ($\text{mg de C-CO}_2 \text{ kg dia}^{-1}$),

CBM - Carbono da biomassa microbiana ($\text{mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1}$).

Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo

Para determinação do N-BM foi utilizado 10 mL da mesma alíquota obtida pelo método de fumigação-extração para análise de C-BM (VANCE et al., 1987). Em seguida foram utilizados 2g de mistura catalisadora e 5mL de ácido sulfúrico P.A. Na sequência foi realizada a digestão em bloco digestor por 2 horas com temperatura controlada de $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Após foi realizada a destilação das amostras e a titulação com ácido sulfúrico 0,0015M.

Análises Estatísticas

Os dados foram avaliados quanto a normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Lilliefors e Cochran e, posteriormente, submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Quando significativos, as médias foram separadas pelo teste de Skott-Knott a 5%, avaliando os tratamentos em cada época e entre as épocas.

Na sequência, realizou-se a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) entre os atributos biológicos relacionados a agregação e terra fina seca ao ar. Também foi realizada uma análise de componentes principais (ACP) com todos os dados obtidos, para reduzir a dimensionalidade do modelo e, conseqüentemente, proporcionar uma melhor interpretação das interações existentes.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Respiração Basal do Solo

Avaliando a RBS, em todas as épocas de coleta (0 DAS, 58 DAS, 80 DAS, 99 DAS, 40 DAP, 99DAP) foi possível constatar que os tratamentos pertencentes ao SPDH (Centeio, Nabo Forrageiro, Centeio + Nabo Forrageiro e Testemunha) apresentaram valores duas vezes menores de respiração quando comparado ao SPC (Figura 8).

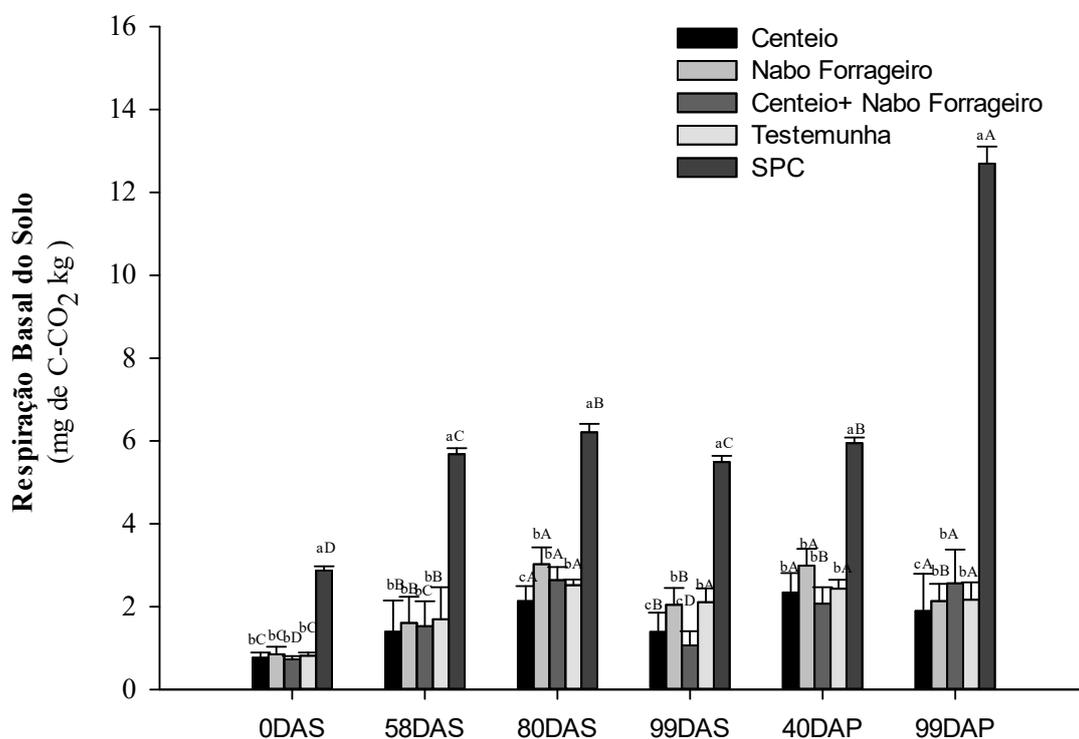
Esses valores encontrados são reflexo dos processos catabólicos, condições anaeróbicas e as alterações ambientais (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006) e ao tempo de adoção do SPDH. Pois ao longo dos anos as plantas de cobertura e as plantas espontâneas que permanecem sobre a superfície do solo ajudam a manter a umidade do solo mais elevada e a temperatura do solo mais baixa, com menores extremos de umidade e temperatura em relação ao SPC, que são aspectos importantes para a atividade e sobrevivência dos microrganismos do solo (CARVALHO et al., 2005; FURLANI et al., 2008; LOURENTE et al., 2010; PEIXOTO et al., 2010).

Todavia sistemas como o SPC que permanecem grande parte do ano com pouca ou sem cobertura vegetal e promovem práticas de revolvimento do solo, como aração e gradagens, tendem a ter uma maior variação da temperatura e, conseqüentemente, maior evaporação da água do solo (DALMAGO et al., 2010). Esses fatores irão refletir nas maiores taxas de respiração microbiana no SPC (MATIAS et al., 2009; NUNES et al., 2011; CARNEIRO et al.,

2013) e maiores perdas de CO₂ (Figura 10). Assim, esses menores valores de RBS encontrados nesse estudo nos tratamentos do SPDH podem demonstrar a formação de uma população microbiana tendendo a estabilização quanto a utilização das espécies vegetais, em especial, Centeio + Nabo Forrageiro, solteiros e consorciados.

Alguns estudos constataram que a biomassa vegetal possui forte relação com a biomassa microbiana em sistemas de plantio direto, o mesmo constatado no presente estudo. O uso de plantas de cobertura em consórcio com outras espécies pode influenciar no aumento dos teores da MO do solo, contribuir para ciclagem de nutrientes, armazenamento de água, manutenção da temperatura e diminuição nas taxas de transpiração (GIONGO et al., 2011). A prática também favorece a atividade microbiana, o que promove por sua vez a ciclagem do nitrogênio e do carbono no solo no SPD (LANNA et al., 2010; ALMEIDA et al., 2016; SOUZA et al., 2020).

Figura 8. Taxas de Respiração Basal do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.



Coleta 1 (0 DAS): coleta inicial antecedendo plantio da coberturas de inverno; Coleta 2 (58 DAS): coleta realizada aos 58 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 3 (80 DAS): coleta realizada aos 80 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 4 (99 DAS): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo das plantas de cobertura, antes do acamamento; Coleta 5(40 DAP): Coleta realizada aos 40 dias após o cultivo da cebola; Coleta

6 (99DAP): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo da cebola. Os dados foram avaliados quanto a normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Lilliefors e Cochran e, posteriormente, submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Quando significativos, as médias foram separadas pelo teste de Skott-Knott a 5%, avaliando os tratamentos em cada época e entre as épocas. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre as épocas de coleta. Letras minúsculas comparam os tratamentos durante a época de coleta.

A respiração basal está relacionada com o carbono orgânico total e com o carbono da biomassa microbiana (HENDRIX et al., 1988). Alvarez et al. (1995) constataram que sistemas de manejo em SPC podem apresentar menores conteúdos de MOS e uma menor BMS, o mesmo observado no presente estudo. Isso pode ocorrer, pois o preparo do solo promove mudanças na estrutura do solo diminuindo agregação e teores de nutrientes no sistema, causando alterações na microbiota do solo. Por outro lado, as práticas de manejo utilizadas no SPD e SPDH proporcionam maior agregação das partículas de solo (LOSS et al., 2020; BORTOLINI et al., 2021), permitindo que os microrganismos possam se proteger das condições adversas (SOUZA et al., 2020).

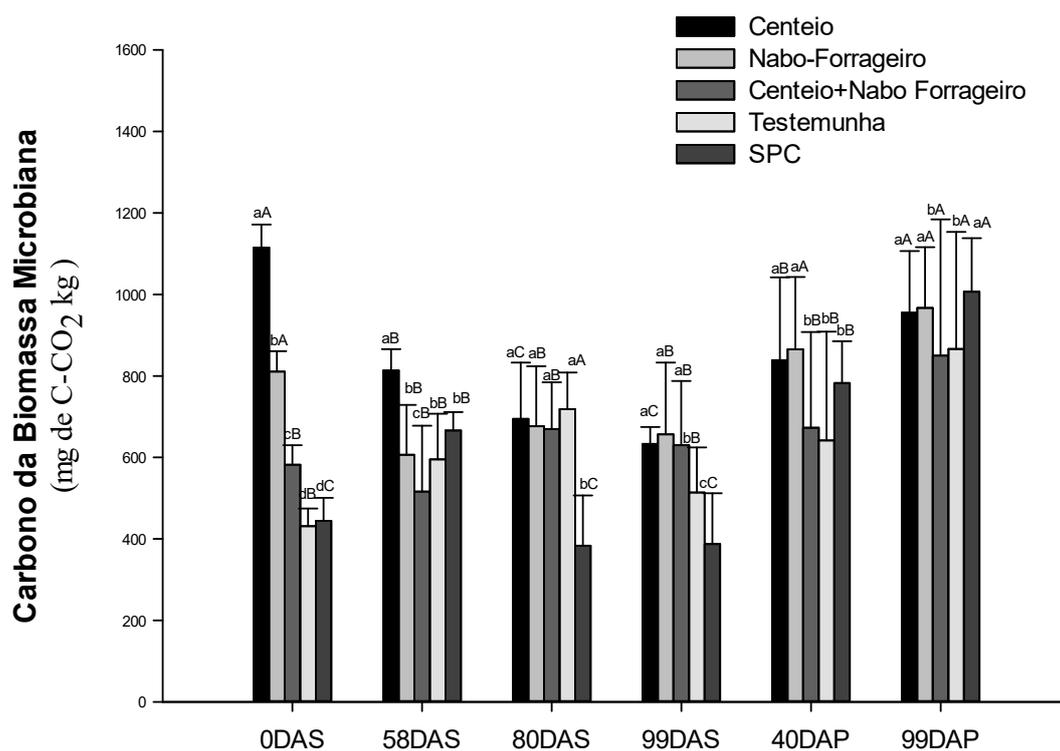
Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBMS)

Os maiores teores de CBMS, foram encontrados aos 0DAS, 58DAS e 40DAP no tratamento Centeio, esses teores foram 60%, 35% e 20% superiores aos demais tratamentos. Aos 40 DAP juntamente com o Centeio, o Nabo-Forageiro apresentou teores 25% superiores aos demais tratamentos (Figura 9). Por se tratar de um sistema de cultivo com diferentes espécies vegetais, é possível constatar que esses maiores valores nessas coletas possam estar relacionados aos diferentes estágios de crescimento de cada uma dessas plantas. O Nabo-forrageiro, floresce aos 70-80 dias e Centeio aos 145-160, fases que essas plantas produzem mais exsudatos radiculares, que são fontes de Carbono para os microrganismos (SMITH & PAPENDICK, 1999; GARCIA et al., 2005).

Aos 80DAS e 99DAS todos os tratamentos do SPDH (Centeio, Nabo-Forageiro, Centeio+Nabo-Forageiro e Testemunha) foram 25% superiores ao tratamento SPC. Os maiores teores de CBM encontrados em todos os tratamentos do SPDH podem estar associados aos resíduos culturais das plantas de inverno que estavam num estágio de decomposição mais avançado, além das taxas de precipitação terem contribuído para aumentar a decomposição desses resíduos (Figura 10). Aos 99 CBM do solo ainda estava coberto com os resíduos da

biomassa vegetal de inverno o que, aliado as altas taxas de temperatura e umidade (Figura Complementar), podem ter estimulado a biomassa microbiana, promovendo um aumento na liberação de CO₂. Já, aos 99 DAP os maiores valores encontrados foram nos tratamentos, centeio, nabo-forrageiro e no SPC.

Figura 9. Carbono da Biomassa Microbiana do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.



Coleta 1 (0 DAS): coleta inicial antecedendo plantio da coberturas de inverno; Coleta 2 (58 DAS): coleta realizada aos 58 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 3 (80 DAS): coleta realizada aos 80 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 4 (99 DAS): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo das plantas de cobertura, antes do acamamento; Coleta 5(40 DAP): Coleta realizada aos 40 dias após o cultivo da cebola; Coleta 6 (99DAP): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo da cebola. Os dados foram avaliados quanto a normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Lilliefors e Cochran e, posteriormente, submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Quando significativos, as médias foram separadas pelo teste de Skott-Knott a 5%, avaliando os tratamentos em cada época e entre as épocas. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre as épocas de coleta. Letras minúsculas comparam os tratamentos durante a época de coleta.

Estudo realizado por Nair et al. (2012), com o objetivo de compreender as mudanças na biologia do solo promovida pelo uso de plantas de cobertura em sistema de produção orgânico de tomate, demonstrou que a atividade microbiana foi alta no tratamento com

composto de centeio. Os autores atribuíram os valores à grande quantidade de biomassa vegetal que essa espécie produziu (aproximadamente 4 t ha^{-1}) e que permaneceu em decomposição sob a superfície do solo.

Estudo realizado por Balota et al., (2014) analisando as alterações microbiológicas de um sistema de cultivo com 23 anos de SPD e SPC de Aveia, Trigo, Nabo, Tremoço e Ervilhaca, constatou que a BMS aumentou na safra de inverno, também foi possível constatar os teores de C orgânico do solo no SPD foram praticamente o dobro dos encontrados no SPC. Wang et al. (2020), avaliando indicadores biológicos do solo (Carbono e Nitrogênio da Biomassa microbiana), verificaram que o uso de leguminosas como alfafa e trevo doce influenciaram na atividade microbiológica do solo e os parâmetros de qualidade do solo em solo arenoso.

O revolvimento restrito do solo e a decomposição dos resíduos culturais na superfície do solo no SPDH também contribuiu para que os tratamentos pertencentes ao SPDH apresentassem os maiores valores de CBMS em relação ao solo ao tratamento SPC. Além disso, os próprios sistemas radiculares das plantas utilizadas na área contribuem influenciando em uma maior quantidade de substrato para a microbiota do solo. As gramíneas por influenciam na ciclagem de nutrientes do solo (SANTOS et al., 2004). Já espécies como o nabo apresentam sistema radicular pivotante e incrementam os teores de nutrientes no solo (CALEGARI, 2001).

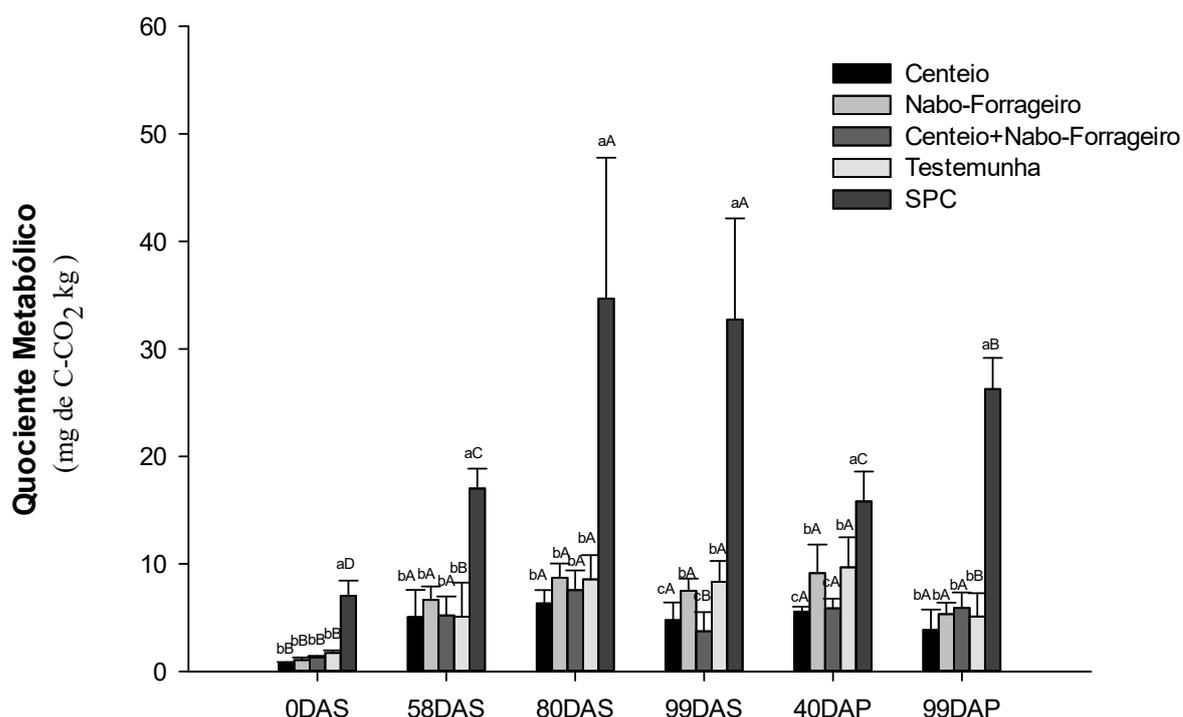
Já, os maiores valores encontrados aos no tratamento SPC aos 99DAP, estão relacionados ao uso do milho como espécie de cobertura vegetal de verão. Estudos destacam que essa espécie além de produzir grandes quantidade de MS vegetal como o observado nesse estudo (Tabela 1), apresenta decomposição lenta, devido sua alta relação C/N, com maior teor de lignina e maiores taxas de lignina/N e lignina/P (GIACOMINI et al., 2003; SANTOS et al., 2017). Auxiliando assim nos maiores valores de CBMS encontrados nesse estudo nesse tratamento.

Quando realizada a avaliação em todas as épocas o tratamento que apresentou destaque foi o CE, com os maiores valores. Esses maiores valores encontrados no CE em todas as épocas estão relacionados a capacidade que essa espécie tem de absorver os nutrientes das camadas mais profundas devido seu Sistema radicular denso. Lundquist et al. (1999), em seu estudo constataram que após a incorporação de centeio ao solo os teores de carbono e nitrogênio microbiano apresentaram os maiores valores. Nair & Ngouajio (2012) verificaram que as práticas de manejo do solo, como utilização de plantas de cobertura e aplicação de compostos (como centeio + ervilhaca) podem aumentar a atividade biológica do solo.

Quociente Metabólico

A avaliação do $q\text{CO}_2$ demonstrou que os maiores valores foram encontrados no tratamento SPC, em todas as épocas de coleta (Figura 3), enquanto os tratamentos sob SPDH apresentaram os menores valores. Os demais tratamentos pertencentes ao SPDH foram possíveis observar entre as épocas de coleta sua estabilidade, diferentemente do tratamento SPC (Figura 10). Isso porque o uso das plantas de cobertura tornou a biomassa microbiana mais eficiente, fazendo com que menores teores de CO_2 fossem perdidos para a atmosfera e maiores taxas de CBM fossem incorporadas ao solo, resultando assim nesses menores valores de $q\text{CO}_2$ (CUNHA et al., 2011).

Figura 10. Quociente Metabólico do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.



Coleta 1 (0 DAS): coleta inicial antecedendo plantio da coberturas de inverno; Coleta 2 (58 DAS): coleta realizada aos 58 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 3 (80 DAS): coleta realizada aos 80 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 4 (99 DAS): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo das plantas de cobertura, antes do acamamento; Coleta 5(40 DAP): Coleta realizada aos 40 dias após o cultivo da cebola; Coleta 6 (99DAP): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo da cebola. Os dados foram avaliados quanto a normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Lilliefors e Cochran e, posteriormente, submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Quando

significativos, as médias foram separadas pelo teste de Skott-Knott a 5%, avaliando os tratamentos em cada época e entre as épocas. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre as épocas de coleta. Letras minúsculas comparam os tratamentos durante a época de coleta.

Um baixo qCO_2 como é o caso do SPDH (Figura 10) aponta a economia não uso de energia e, conseqüentemente, isso reflete em um ambiente estável ou mais próximo disso. Valores elevados de qCO_2 , como é o caso do SPC (Figura 10), são indicativos de sistemas de cultivo submetidos a condições de estresse ou de distúrbio como, por exemplo, a incorporação de resíduos ao solo (TÓTOLA & CHAER, 2002). Silva et al. (2007), ao estudarem os efeitos do SPC e do SPD, avaliaram o qCO_2 no cultivo de feijão comum, encontraram valores maiores de qCO_2 para o SPC, atribuindo esses valores ao revolvimento do solo. Esses dados obtidos pelos autores corroboram com os encontrados no presente trabalho. Essa prática influencia no aumento da mineralização da MO e na liberação do CO_2 na atmosfera (SIX et al., 2000).

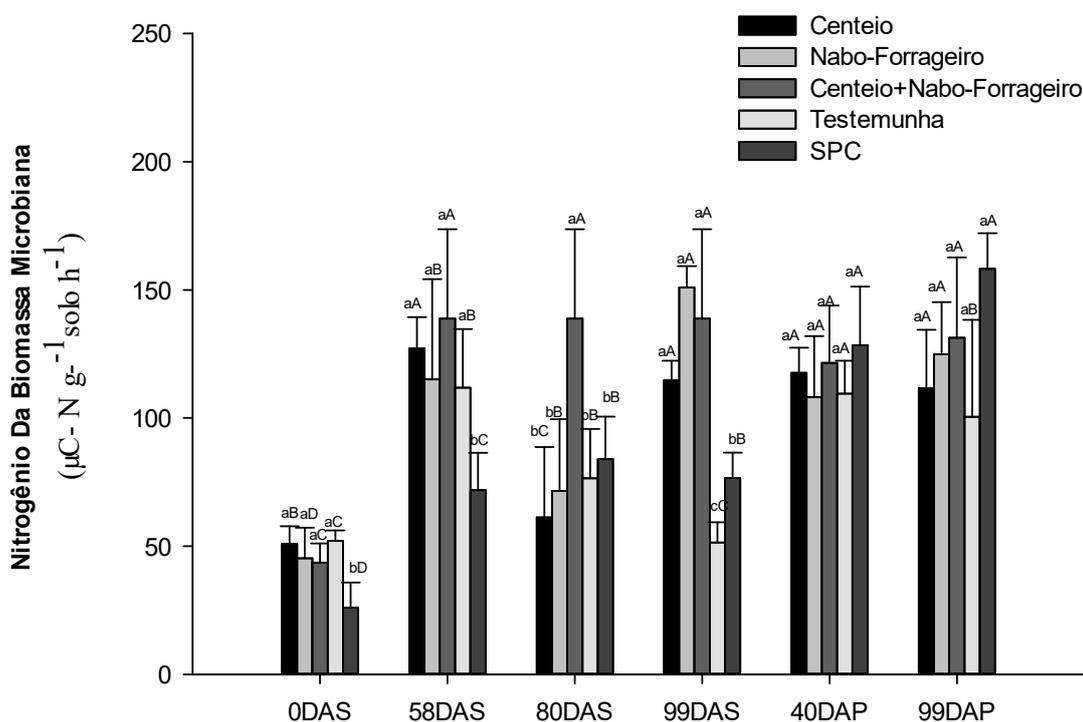
Em seu trabalho, Carneiro et al. (2008), constataram valores superiores de liberação de CO_2 em áreas com resíduos de milho, nabo forrageiro, crotalaria e sob pousio, com a maior atividade microbiana indicando perda de carbono na forma de CO_2 para a atmosfera. A composição química dos resíduos dessas espécies de coberturas pode levar a população microbiana a consumir mais energia, na forma de C, influenciando na manutenção da biomassa microbiana sob interferência de resíduos vegetais com menor relação C:N. Em estudo realizado por Mbuthia et al. (2015), avaliando a longo prazo a influência de ervilhaca e trigo em sistema de plantio direto constataram através dos resultados obtidos que essas espécies por produzirem grandes quantidades de material vegetal, resultaram em maiores aumentos nas taxas de C e N no solo. Uma vez que espécies como a ervilhaca melhoram a qualidade do solo e rendimento da cultura sem necessidade de fertilização mineral por se tratar de uma espécie que fixa grandes quantidades de N da atmosfera, podendo chegar de 100 até 220 kg N ha⁻¹ (MONEGAT, 1991) e pode liberar grandes quantidades.

Nitrogênio da Biomassa Microbiana do Solo

Avaliando os teores de Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM), os maiores valores em cada época de coleta foram encontrados em todos os tratamentos do SPDH (aos 0DAS, 58DAS, 99DAS, 40DAP, 99DAP). O tratamento consorciado Centeio+Nabo-Forageiro apresentou teores 40% superiores aos demais tratamentos aos 80 DAS (Figura 11).

Quando avaliado os tratamentos entre as épocas, foi possível constatar que os maiores valores foram encontrados no tratamento centeio em todas as épocas amostradas, Nabo-forrageiro aos 99 DAS, Centeio+Nabo-Forrageiro aos 58 DAS, 80 DAS e 99 DAP e o tratamento SPC aos 99 DAP (Figura 11).

Figura 11. Taxas de Nitrogênio Basal do solo sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.



Coleta 1 (0 DAS): coleta inicial antecedendo plantio da coberturas de inverno; Coleta 2 (58 DAS): coleta realizada aos 58 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 3 (80 DAS): coleta realizada aos 80 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 4 (99 DAS): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo das plantas de cobertura, antes do acamamento; Coleta 5(40 DAP): Coleta realizada aos 40 dias após o cultivo da cebola; Coleta 6 (99DAP): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo da cebola. Os dados foram avaliados quanto a normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Lilliefors e Cochran e, posteriormente, submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Quando significativos, as médias foram separadas pelo teste de Skott-Knott a 5%, avaliando os tratamentos em cada época e entre as épocas. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre as épocas de coleta. Letras minúsculas comparam os tratamentos durante a época de coleta

Esses maiores valores podem estar relacionados ao fato de que o nabo-forrageiro, mesmo não possuindo a capacidade de realizar fixação biológica de N₂ atmosférico, possui um sistema radicular pivotante, que possui a capacidade de extrair o N de camadas mais profundas

do solo, além de produzir grande quantidade de biomassa vegetal (CRUSCIOL et al., 2005). Em estudo realizado por Oliveira et al. (2016), constatou-se que a diminuição da biomassa vegetal ao longo do tempo na superfície do solo está associada ao processo de decomposição e imobilização dos compostos solúveis pela população microbiana, resultando em maior acúmulo de MO e, conseqüentemente, melhorando os atributos do solo.

A permanência dos resíduos de centeio no solo está relacionada à sua maior relação C/N (22/1) e teor de lignina e menores valores da relação celulose e lignina quando comparada as demais espécies de plantas de cobertura do solo (OLIVEIRA et al., 2016). Os resíduos de centeio possuem maiores teores de C/N, lignina/N e lignina/P, que ao se decompor liberam nutrientes para o solo de maneira lenta e gradual (GIACOMINI et al., 2003). No entanto, espécies como o nabo possuem teores de lignina menores, e, portanto, apresentam maior teor de celulose (CRUSCIOL et al. 2005). Assim o consorcio dessas duas espécies vegetais centeio e nabo apresentarão níveis intermediários de lignina, celulose, teores de N, P, K, Ca e Mg e C/N, lignina/N e lignina/P. Portanto, o consórcio de espécies de plantas de cobertura influencia em quantidades adequadas de resíduos vegetais na superfície do solo, além da liberação gradual de nutrientes (GIACOMINI et al., 2003).

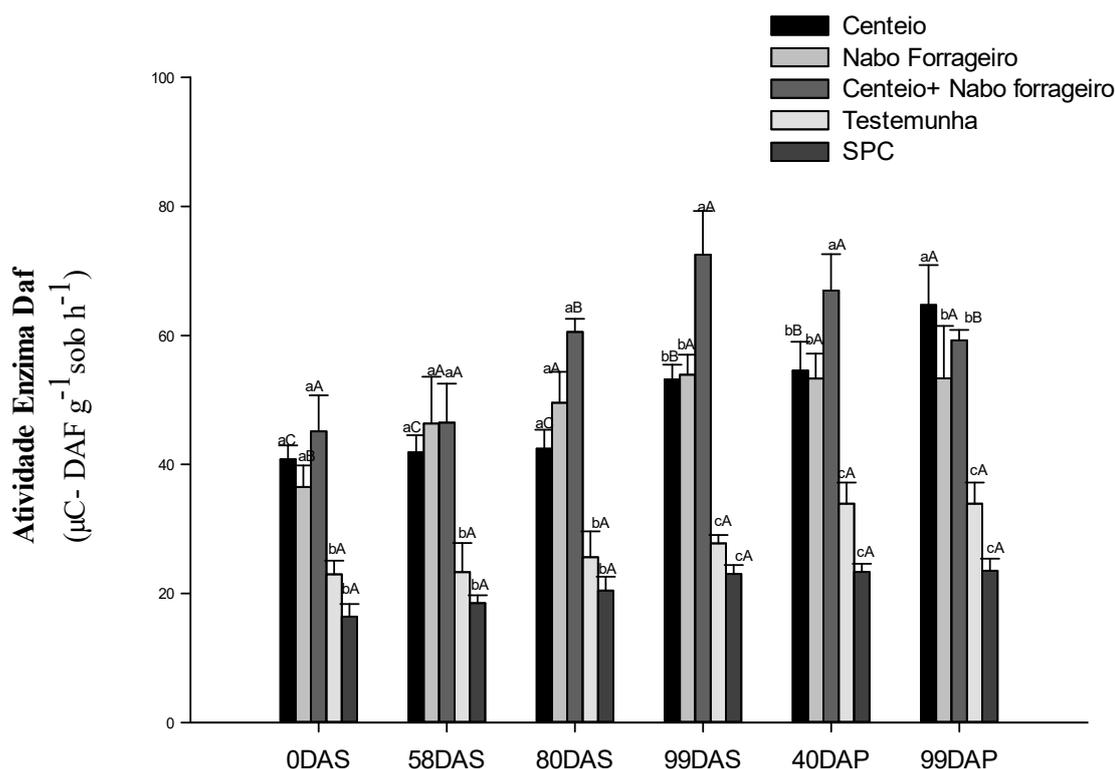
No tratamento SPC os maiores valores do NBM foram encontrados aos 99DAP Esses maiores valores de NBM podem estar relacionados com as adubações químicas realizadas nesse sistema e o uso de milho como espécie de cobertura de verão. Estudos constatam que essa espécie se caracteriza por apresentar um elevado crescimento, alta produção de matéria seca vegetal, porém elevada relação C/N (GONÇALVES et al., 2006; TIMOSSI et al., 2007). No entanto, devido a adubação (Ureia) fornecer N, há um aumento da atividade microbiana no solo e, conseqüentemente, aumentando o NBM. Embora o SPD promova aumento nos teores de N no solo, frequentemente se observa, em comparação ao SPC, que esses valores podem ser menores (AMADO et al., 2002).

Hidrolise do Diacetato da Fluoresceína (DAF)

Avaliando a determinação da Hidrolise do Diacetato de Fluoresceína, foi possível constatar que o tratamento Centeio+Nabo-Forageiro apresentou valores 25% superiores aos 0 DAS, 35% aos 58 DAS, 20% aos 80 DAS e 50% aos 99 DAS, comparado aos demais tratamentos do SPDH nessas épocas (Centeio, Nabo-Forageiro, Testemunha) (Figura 12).

Entre as épocas de coleta os tratamentos que apresentaram destaque foram Centeio+Nabo-Forrageiro aos 99DAS e 40DAP com valores 25% superiores aos demais tratamentos (Centeio, Nabo-Forrageiro e Testemunha) e o tratamento CE aos 99DAP com valores 25% superiores aos demais tratamentos (Nabo-Forrageiro, Centeio+Nabo-Forrageiro e Testemunha) (Figura 12). Também foi constatada uma moderada a forte correlação entre a atividade enzimática com a RBS e qCO_2 ($r < 0,71$ e $r < 0,72$, respectivamente, na 0DAS, $r < 0,75$, $r < 0,68$ na 40DAP e $r < 0,73$ e $r < 0,72$ na 99DAP) e com a RBS e NBMS na 99 DAS ($r < 0,74$ e $r < 0,89$). Essas correlações podem estar associadas ao potencial heterotrófico que a DAF representa no solo, em que as enzimas que influenciam na hidrólise e na decomposição de materiais orgânicos como as proteases, lipases e esterases (SCHNÜRER & ROSWALL, 1982; DICK et al., 1996).

Figura 12. Taxas de Atividade da Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (DAF) sob SPDH com diferentes plantas de cobertura do solo e sob SPC com milho.



Coleta 1 (0 DAS): coleta inicial antecedendo plantio da coberturas de inverno; Coleta 2 (58 DAS): coleta realizada aos 58 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 3 (80 DAS): coleta realizada aos 80 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 4 (99 DAS): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo das plantas de cobertura, antes do acamamento; Coleta 5(40 DAP): Coleta realizada aos 40 dias após o cultivo da cebola; Coleta 6 (99DAP): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo da cebola. Os dados foram avaliados

quanto a normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Lilliefors e Cochran e, posteriormente, submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de probabilidade. Quando significativos, as médias foram separadas pelo teste de Skott-Knott a 5%, avaliando os tratamentos em cada época e entre as épocas. Letras maiúsculas comparam os tratamentos entre as épocas de coleta. Letras minúsculas comparam os tratamentos durante a época de coleta

Em estudo realizado por Wang et al., (2020), constatou-se que solos cobertos por alfafa tiveram maiores valores de atividade das enzimas desidrogenase, urease e protease, evidenciando que os microrganismos são importantes indicadores em solos cultivados com leguminosas, por apresentarem alta capacidade metabólica, forte mineralização do N e grandes estoques de N ativos. Agentes como altas taxas de precipitação podem ser favoráveis nesse processo, pois favorecem a decomposição dos resíduos contribuindo com mais substrato para os microrganismos e aumentando sua atividade metabólica (KHAN et al., 2018)

Os maiores valores de atividade da DAF encontrados nos tratamentos com uso de plantas de cobertura CE, NF e consórcio CE+NF estão relacionados à diversidade vegetal e acúmulo de matéria orgânica (SILVA et al., 2004; VARGAS, 2012). Mesmo que muitas vezes a atividade enzimática não seja sensível para investigar as mudanças ambientais, alguns estudos destacam que as enzimas do solo são importantes indicadores capazes de caracterizar a atividade metabólica dos microrganismos no solo (SAID et al., 2009). GODOI et al. (2001) concluíram que a avaliação da hidrólise da DAF foi um parâmetro importante para investigar a qualidade de solos de áreas degradadas, recuperadas ou nativas nos cerrados brasileiros.

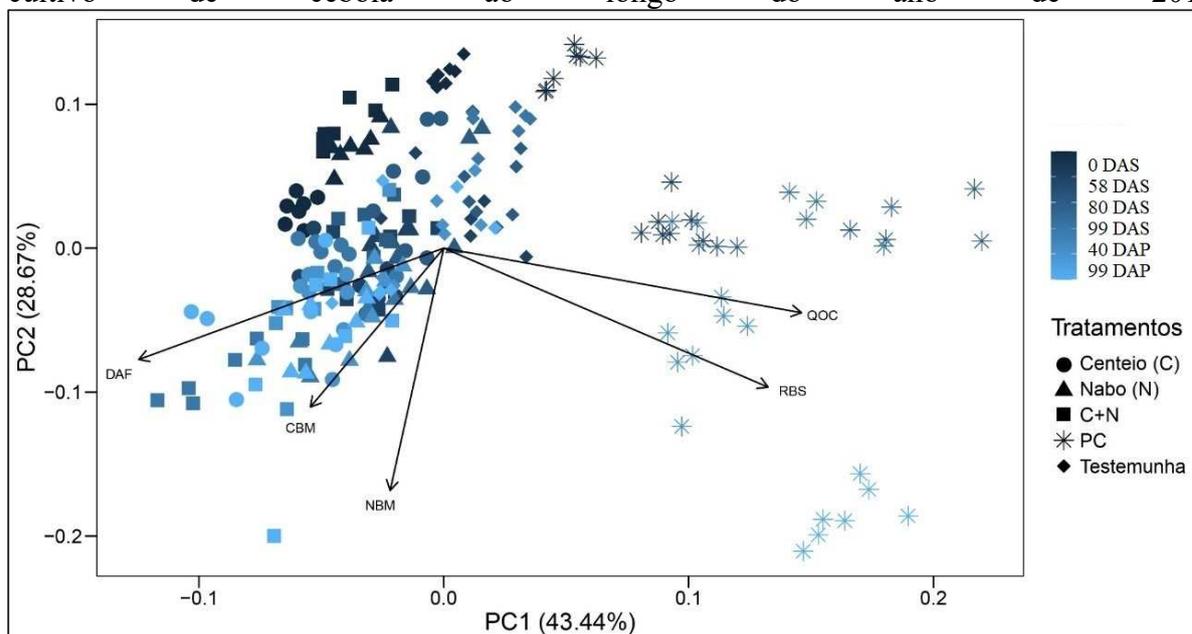
Os maiores valores encontrados nos tratamentos com uso de nabo-forageiro solteiro e consorciado podem estar associados ao fato que o nabo forrageiro é uma espécie que apresenta grande produção de biomassa vegetal. Souza et al. (2020) em seu estudo na mesma localidade experimental reportaram que o nabo-forageiro foi a espécie que associada a cevada produziu a maiores valores de matéria seca vegetal no mês de julho, ao final do cultivo das espécies de inverno, antes e ocorrer o acamamento). Sanchez Monedero et al. (2008) constataram que a DAF está relacionada à diversidade vegetal e também à sua decomposição, segundo os autores é pouco afetada pelas mudanças ambientais como a temperatura e a umidade.

Assim, pode-se observar que o manejo do solo e o uso de plantas de cobertura, influenciou nas alterações da BMS. Neste contexto, a BMS pode ser considerada com um bom indicador das alterações que ocorrem no solo por conta dos sistemas de manejo. Os dados obtidos no presente trabalho de incremento na biomassa microbiana através do CBM e NBM, qCO_2 e da atividade da DAF determinado pelas práticas do SPDH quando comparado ao SPC de cebola, reforçam este argumento.

Análise de componentes principais

Por meio de análise de componentes principais (ACP) foi possível constatar formação de dois distintos grupos, um formado pelos tratamentos do SPDH e outro formado pelo tratamento SPC. Também correlação entre os tratamentos com diferentes plantas de cobertura e os atributos microbiológicos do solo (Figura 13). Os tratamentos do SPDH apresentaram os menores valores de RBS e de qCO_2 , enquanto o SPC apresentou os maiores valores. Esses foram os melhores indicadores para separar os dois sistemas de cultivo.

Figura 13. Análise de componentes Principais (ACP) com análises biológicas em áreas com cultivo de cebola ao longo do ano de 2017.



Coleta 1 (0 DAS): coleta inicial antecedendo plantio da coberturas de inverno; Coleta 2 (58 DAS): coleta realizada aos 58 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 3 (80 DAS): coleta realizada aos 80 dias após o cultivo das plantas de cobertura de inverno; Coleta 4 (99 DAS): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo das plantas de cobertura, antes do acamamento; Coleta 5(40 DAP): Coleta realizada aos 40 dias após o cultivo da cebola; Coleta 6 (99DAP): Coleta realizada aos 99 dias após o cultivo da cebola.

Também foi possível analisar que as diferentes espécies de plantas de cobertura centeio, nabo e seu consorcio apresentaram influência na atividade da DAF, Carbono da biomassa microbiana e Nitrogênio da Biomassa microbiana. Esses resultados confirmam, mais uma vez, que sistemas de cultivo com menor perturbação do solo, como o SPDH, promovem condições favoráveis para a mineralização da MO pela microbiota do solo. Assim, o SPDH proporciona condições favoráveis aos microrganismos devido às melhorias nos atributos físicos

como a agregação das partículas no solo, redução da erosão, melhoria da estrutura do solo (SANTOS et al., 2018; FERREIRA et al., 2018; LOSS et al., 2020; BORTOLINI et al., 2021), melhorias na fertilidade e acúmulo da matéria orgânica do solo (OLIVEIRA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017; COMIN et al., 2018), o que torna as comunidades microbianas mais estáveis, promovendo melhorias nos atributos biológicos do solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; SOUZA et al., 2021).

7.4 CONCLUSÕES

O uso das diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno e verão ao longo dos anos, contribuiu para a estabilidade do sistema, melhorando os atributos biológicos do solo no SPDH em relação ao SPC.

O Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) apresentou as menores taxas de respiração basal do solo e quociente metabólico, indicando ser um ambiente mais equilibrado, perante o uso das plantas de cobertura, em comparação ao SPC.

O uso de Centeio e Nabo-Forageiro favoreceram os maiores teores de Carbono da Biomassa Microbiana. O Centeio e o consórcio entre centeio+nabo-forrageiro influenciaram os maiores valores da atividade da enzima DAF.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo financiamento da pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de Produtividade de , Jucinei José Comin, Cledimar Rogério Lorenzi, Paulo Emílio Lovato e Claudio Roberto Fonseca Souza Soares. Os autores agradecem à Estação Experimental (EPAGRI) de Ituporanga, Santa Catarina, Brasil, pela área experimental e auxílio técnico.

7.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; ACOSTA-MERCADO, D.; SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D.; CRUZ-RRODRÍGUEZ, L. Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils. *Applied Soil Ecology*, v.38, p.249-260, 2008.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.

ALMEIDA DENICE DE OLIVEIRA; BAYER, CIMELIO; ALMEIDA, HENRIQUE CESAR. Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, n.9, p.1140-1147, 2016.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BALOTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. **Soil e Tillage Research**, v.33, p.17-28, 1995.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biol. Biochem.**, v.21, p.471-479, 1989.

BALOTA, E.L., A. CALEGARI, A.S. NAKATANI, AND M.S. COYNE. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.197, p.31-40, 2014.

BASSEGIO et al., Short-term effects of crop rotations on soil chemical properties under no-tillage condition. **Australian Journal of Crop Science**. v.9, p.49-54, 2015.

BORTOLINI, J.B.; SOARES, C.R.F.S.; MULLER, M.J.; FERREIRA, G. W.; MEYER, E.; VIEIRA, C. K.; SOUZA, M.; KURTZ, C.; LOURENZI, C.R.; LOVATO, P.E.; LOSS, A.; COMIN, J.J. Soil Carbon Glomalin, And Aggregation in Onion Crop Under No-Tillage With Cover Crops or Conventional Tillage Systems for Eight Years. **Journal of Agricultural Studies**, v.9, p.130-150, 2021.

CALEGARI, A. **Sustentabilidade sim. In: Encontro de Plantio Direto no Cerrado**, 5., Anais.... Dourados:UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, p.23-28, 2001.

CARNEIRO, M. A. C.; MELO, L. B.C.; ASSIS, P. C. R.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008.

CARNEIRO M.A.C.; SOUZA E.D.; PAULINO H.B.; SALES L.E.O.; VILELA L.A. **Atributos indicadores de qualidade em solos de Cerrado no entorno do Parque Nacional das Emas**. Goiás. **Biosci J**. V.29, p.1857-68, 2013.

CARVALHO, J. E. et al. Cobertura morta do solo no cultivo de alface cv. Regina, em Ji-Paraná/RO. **Ci. Agrotec.**, v. 29, n. 5, p. 935-939, 2005.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.

COCHRAN, V.L.; HORTON, K.A.; COLE, C.V. An estimation of microbial death rate and limitations of N or C during wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.293-298, 1988.

CRUSCIOL, C.A.C., COTTICA, R.L., LIMA, E.D., ANDREOTTI, M., MORO, E., MARCON, E.. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.161-168, 2005.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LENADRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 603-611, 2011.

COMIN, J. J., FERREIRA, L. B., SANTOS, L. H., KOUCHER, L. P., MACHADO, L. N., SANTOS, E. , MAFRA, A. L. , KURTZ, C. , SOUZA, M. , BRUNETTO, G. , LOSS, A., 2018 (a). Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil & Tillage Research**, v.184, p.195-202, 2018.

DALMAGO, G. A. et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Pesquisa agropecuária brasileira**. vol.45, n.8, p.780-790, 2010.

DICK, R.P.; BREAKWEL, D.P.; TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.; JONES, A. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Madison, Usa., **Soil Science Society of America**, p. 247-271, 1996.

DUBE E.; CHIDUZA C.; MUCHAONYERWA P. Conservation agriculture effects on a Haplic Causol after four years of maize–oat and maize–grazing vetch rotations in South Africa. **Soil and Tillage Research** v.123, p.21–28, 2012

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA-EPAGRI. **Sistema de produção para cebola: Santa Catarina**. 4ª revisão. Florianópolis. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2013. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ªed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312p.

EPAGRI/CEPA. **Boletim Agropecuário**. Junho/2019 (Epagri. Documentos, 295). Florianópolis, 48p.

FERREIRA, L. B., LOSS, A., GIUMBELLI, L. D., VENTURA, B., SOUZA, M., MAFRA, A. L., KURTZ, C., COMIN, J. J., BRUNETTO, G. Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil e Tillage Research**, p. 1-10, 2018.

FURLANI, C. E. A. et al. Temperatura do solo em função do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, n. 1, p. 375-380, 2008.

GARCIA, C. ET AL. Capacidade de diferentes espécies de plantas em promover processos microbiológicos em solo semiárido. **Geoderma**, v.124, p.193-202, 2005.

GIACOMINI S.J.; AITA C.; HUBNER A.P.; LUNKES A.; GUIDINI E.; AMARAL E. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesq Agropec Bras.** v.38, p.1097-104,2003.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 611- 618, 2011.

GODOI, L.C.L. Propriedades microbiológicas de solos em áreas degradadas e recuperadas na região dos cerrados goianos. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

GONÇALVES, P.A DE S.; BOFF, P.; ROWE, E. **Referências tecnológicas para a produção de cebola em sistemas orgânicos**. Epagri Florianópolis, v.21, p.142, 2008.

HIGASHIKAWA, F.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R. **Conceito de Fertilidade do Solo em SPDH**. in: Sistema de plantio direto de hortaliças - método de transição para um novo modo de produção. Editora Expressão Popular. p.432, 2019.

HENDRIX, P.F.; HAN, C.-R.; GROFFMAN, P.M. Soil respiration in conventional and no-tillage agroecosystems under different winter cover crop rotations. **Soil Till. Res.**, v.12, p.135-148, 1988.

LANNA, A. C. et al. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. vol.34, n.6 p.1933-1939,2010.

LOURENTE, E.R.P.; MERCANTE, F.M.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; SILVA, M.A.G.; SOUZA C.M.A Crop rotation and soil biochemical and microbiological characteristics and corn crop yield. **Semin Cienc Agrar.** v.31, p.829-422, 2010.

LOSS, ARCÂNGELO; FERREIRA, LUCAS BORGES ; GONZATTO, R. ; GIUMBELLI, L. D. ; MAFRA, ÁLVARO LUIZ ; GOEDEL, A. ; KURTZ, CLAUDINEI . Efeito da sucessão ou rotação de culturas sobre a fertilidade do solo após sete anos de cultivo com cebola. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 16587-16606, 2020.

MARINARI, S.; MANCINELLI, R., CAMPIGLIA, E. GREGO, S. Chemical and Biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators.** V.6, p. 701-711, 2016.

MARTINEZ-SALGADO, M. M. et al. **Biological soil quality indicators: a review**. Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. p.10, 2010.

MATIAS M.C.B.S; SALVIANO A.A.C; LEITE L.F.C; ARAÚJO A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Sci Agron.** v.1, p.517-21., 2009.

MBUTHIA, L.W; ACOSTA-MARTÍNEZ V.; DEBRUYN, J.; SCHAEFFER, S; TYLER, DONALD; ODOI, E.; MPHESHEA, M; WALKER, F. Eash. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial Community structure, activity: Implications for soil quality. **Soil Biology and Biology.** v.89, p. 24-34., 2015.

MOREIRA, F. S., SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. Editora UFLA, Lavras, MG, Brasil, p. 729, 2006.

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

NAIR, A; NGOUAJIO, M. Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode Community structure as affected by cover crops and compost in na organic vegetable production system. **Applied Soil ecology.** v.58, p 45-55, 2012.

NUNES R.S.; LOPES A.A.C.; SOUSA DMG, MENDES IC. Management systems and the carbon and nitrogen stocks of Cerrado Oxisol under soybean-maize succession. **Revista Brasileira de Ciência Solo.** v.35, p.1407-19, 2011.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, 1-13 p. 2010.

KHAN M.I; HWANG H.; KIMA G.W.; KIM P.J.; DAS S. Microbial responses to temperature sensitivity of soil respiration in a dry fallow cover cropping and submerged rice mono-cropping system. **Appl Soil Ecol.** v.128, p.98-108, 2018.

OLIVEIRA, R. A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KURTZ, C.; MULLER, V. M.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura e seus efeitos em atributos químicos do solo e produtividade da cebola. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 40, p.1-17, 2016.

OLIVEIRA, R. A.; COMIN, J. J.; TIECHER, T. et al. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 1, p. 1-16, 2017.

PEIXOTO R.S.; CHAER G.M.; FRANCO N.; REIS JR F.B.; MENDES I.C.; ROSADO A.S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. **Anton Leeuw.** v.8, p.403-13, 2010.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A. et al. Fluorescein diacetate hydrolysis, respiration and microbial biomass in freshly amended soils. **Biology and Fertility of Soils**, v.44, p.885-890, 2008.

SAID, A.; HAMIDO, K.; KPOMBLEKOU, A. Cover crop and tillage effects on soil enzyme activities following tomato. **Soil & Tillage Research**, v. 105, p. 269-274, 2009.

SANTOS, L. H. ; LOSS, A. ; LORENZI, C. R. ; SOUZA, M. ; GONZATTO, R. ; KURTZ, C. ; BRUNETTO, G. ; COMIN, J. J. Nitrógeno total y sustancias húmicas en agregados del sueco cultivado con cebolla bajo siembra directa y preparación convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 12, p. 166-174, 2018.

SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, D.G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo, **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, p.333-338, 2004.

SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environment Microbiology** v.43,p.1256-1261, 1982.

SILVA, I. R. D.; MENDONÇA, E. D. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; VICTOR, H. A. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI NEVES, J. C. L. (Eds.). Fertilidade do Solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.275-374, 2007.

SILVA, M.; SIQUEIRA, R. E.; COSTA, J. L. S. DA. Hidrólise de diacetato de fluoresceína como bioindicador da atividade microbiológica de um solo submetido a reflorestamento. **Ciência Rural**, vol. 34, n. 5, 1493-1496p. 2004.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E.T. & COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.64,p.681-689, 2000.

SMITH, J. L; PAPANDICK, R. I. Soil organic matter dynamics and crop residue management. In: SYLVIA D. M. et al. (eds.). Principles and applications of soil microbiology. Prentice Hall, Inc. (E.D). New Jersey, EUA, 1999.

SPEDDING, T.A; HAMEL, C.; MEHUYS, G.R.; MADRAMOOTOO, C.A. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. **Soil Biology and Biochemistry** v.36,p.499-512,2004.

SOUZA, M.; VARGAS, M.M. ; Ventura, B. S. ; JÚNIOR, V. M. ; SOARES, C. R. F. S. ; KURTZ, C. ; COMIN, J. J. ; Lovato, P. E. . Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. **Revista Ciência Rural.**, v. 50, p. 1-11, 2020.

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

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Eficácia de glyphosate em plantas de cobertura. **Planta Daninha**, v. 24, n. 3, p. 475-480, 2006.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.195-276, 2002.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biol. Biochem.**, v. 19, p.703-707, 1987.

VARGAS, M. M. M. Atributos químicos e biológicos do solo e rendimento da cebola em sistema de plantio direto após cultivo com diferentes plantas de cobertura de inverno. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Florianópolis, SC, 37 f., 2012.

WANG, W.; HAN, L.; ZHANG, X. Winter Cover Crops Effects on soil microbial characteris in Sandy áreas of Northen Shaanxi, China. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. V.44, 2020.

8. CONCLUSÕES GERAIS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tese teve como objetivo geral avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura de verão e inverno no sistema de manejo SPDH em comparação ao SPC e por meio da avaliação da qualidade do solo com atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Foram realizados 3 estudos, divididos em capítulos, Capítulo I: “Plantas de cobertura de inverno: influência nos teores de carbono, glomalina e na agregação do solo em sistema plantio direto e preparo convencional de cebola por oito anos”, Capítulo II: “Contribuição de plantas cobertura de inverno nos teores de N total, fertilidade do solo e produtividade de cebola em um SPDH de longa duração” e no Capítulo III: “Atividade microbiana do solo sob sistema de plantio direto agroecológico de cebola com diferentes plantas de coberturas”.

Em todos os capítulos, de maneira geral, foi possível constatar que ao longo dos anos de condução do SPDH de cebola, o uso de diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno e verão e o manejo do solo restrito as linhas de cultivo melhorou os atributos físicos, da fertilidade do solo e biológicos do solo em relação ao SPC. Os rendimentos da cultura da cebola também se tornaram estáveis ao longo dos anos, promovendo alimentos limpos por meio do uso de plantas de cobertura e duas capinas para suprimir a incidência de plantas espontâneas, ao invés de usar produtos agroquímicos.

O uso de plantas de cobertura de inverno, como a Aveia-Preta, Centeio e o consórcio destas com Nabo-Forageiro, favoreceu nos maiores valores de agregação do solo na camada superficial do solo. Os tratamentos Aveia-Preta e Centeio solteiros também proporcionaram melhorias na formação de macroagregados em camadas mais profundas do solo e os valores de DMP e DMG na camada de 10-20 cm. A adoção de Aveia-Preta como planta de cobertura aumentou os teores de glomalina total e glomalina facilmente extraível nas camadas superficiais, com contribuição direta sobre a agregação do solo quando comparado ao SPC.

O SPDH também propiciou melhorias quanto aos atributos de fertilidade do solo em todas as camadas avaliadas, tanto nos agregados, quanto na TFSA. Se destaca predominantemente os maiores teores de NT nos agregados nos tratamentos do SPDH e nos teores de COT. Também foi possível constatar que o uso das diferentes espécies de plantas de cobertura de inverno e verão ao longo dos anos, contribuiu para as menores taxas de respiração basal do solo e quociente metabólico, indicando ser um ambiente mais equilibrado em comparação ao SPC. O SPDH também favoreceu a atividade da enzima DAF em comparação aos tratamentos SPC e testemunha.

Por meio da PCA realizada em cada um dos três capítulos, foi possível constatar a separação dos tratamentos do SPDH e SPC. No SPDH constata-se uma significativa correlação entre os diferentes tipos de plantas de cobertura e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, assim como a separação dos consórcios dos cultivos solteiros.

Para trabalhos futuros, poderiam ser realizados experimentos avaliando mais minuciosamente a atividade biológica até então pouco explorada na presente área experimental. Cita-se a avaliação da atividade enzimática no solo e nas plantas de cobertura do experimento e também avaliações de respirometria e biomassa microbiana do solo, dando sequência a esse estudo.

Neste sentido, com esses resultados obtidos pela tese, foi possível destacar a importância das diferentes espécies de plantas de cobertura solteiras e consorciadas na qualidade física, química e biológica do solo. Também foi possível observar nesse trabalho a similaridade dos resultados nos tratamentos pertencentes ao SPDH em quase todos os atributos avaliados, sugerindo a estabilidade do sistema. Essa estabilidade se dá devido aos anos de uso de espécies vegetais solteiras e consorciadas, revolvimento mínimo do solo e os princípios pertencentes ao SPDH adotados

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

BALOTA E.L., MACHINESKI O., HAMID K.I.A, YADA I.F.U., BARBOSA G.M.C., NAKATANI A.S., COYNE M.S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Sci Total Environ**. v. 490, p.397-404, 2014.

BALOTA, E.L. Manejo e qualidade biológica do solo. Londrina: Mecenaz, 2017.

BALOTA, E.L., A. CALEGARI, A.S. NAKATANI, AND M.S. COYNE. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.197, p.31–40, 2014.

BARBIERI, R. L.; CASTRO, C. M.; MITTELMANN, A.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; PEREIRA, A. S.; LEITE, D. L.; CHOER, E.; ANTUNES, I. F.; CASTRO, L. A. S.; RASEIRA, M. C. B.; MARIOT, M. P.; FAGUNDES, P. R. R.; SILVA, S. D. A.; TREPTOW, R. **Conservação ex situ de recursos genéticos vegetais na Embrapa Clima Temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005. 27 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 143).

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. DINÂMICA E FUNÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA. IN: SANTOS, G. DE A.; SILVA, L.S. DA; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. DE O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2ª Edição. p.7-18, 2008.

BOITEUX, L. S.; MELO, P. C. T. DE. Taxonomia e origem. In: OLIVEIRA, V. R.; BOITEUX, L. S. (Ed.). Sistema de produção de cebola (*Allium cepa* L.). Brasília, DF: Embrapa-CNPQ, 2004. (Embrapa-CNPQ. Sistemas de Produção, 5). Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/cebola/index.htm>.

BORIE, F.; RUBIO, R.; ROUANET, J. L.; MORALES, A.; BORIE, G.; ROJAS, C. Effect of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in a Chilean Ultisol. **Soil & Tillage Research**, Netherlands, v. 88, n. 1-2, p. 253-261, 2006.

BORTOLINI, J.B.; SOARES, C.R.F.S.; MULLER, M.J.; FERREIRA, G. W.; MEYER, E.; VIEIRA, C. K.; SOUZA, M.; KURTZ, C.; LOURENZI, C.R.; LOVATO, P.E.; LOSS, A.; COMIN, J.J. Soil Carbon Glomalin, And Aggregation in Onion Crop Under No-Tillage With Cover Crops or Conventional Tillage Systems for Eight Years. **Journal of Agricultural Studies**, v.9, p.130-150, 2021.

BREWSTER, J. L. **Onions and other cultivated alliums**. Wallingford: CABI International, 1994. 236 p.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biol. Biochem.**, v.17, p.837-842, 1985.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; COSTA, M. B. B. da; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: Costa, M. B. B. dá (Coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, p. 1-56, 1993.

CARVALHO, E.A. **Avaliação agrônômica da disponibilização de feijão sob sistema de semeadura direta**. Tese de Doutorado em Agronomia- Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba. 80p., 2002.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuação na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.133-142, 1990.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M.C.; NETO, M.S.; CAMARGO, P.B.; 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**. 2012.

COSTA, E.A; GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V.7, p.41, 2006.

COUTO, R.R.; COMIN J.J.; SOARES, C.R.F.S.; BELLI FILHO, P.; BENEDET, L.; MORAES, M.P.; BRUNETTO, G.; BEBER C.L. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. **Pesq Agropec Bras**. v. 48, p.774-82, 2013.

CURAQUEO, G.; BAREA, J.S; ACEVEDO, E.; RUBIO, R. E CORNEJO, P. Effects of tillage system on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and physical properties in a Mediterranean agroecosystem in central Chile. **Soil and Tillage Research**, v. 113, p. 11-18, 2011.

DAKORA, F.D; KEYA, S.O. Nitrogen fixation in sustainable agriculture: the African experience. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.809-818, 1997.

DRIVER, J.D.; HOLBER, W.E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biol. Biochem.**, v.37, p.101-106, 2005.

EPAGRI/CEPA. Boletim Agropecuário. Junho/2019 (Epagri. Documentos, 295). Florianópolis, 48p

ESPINOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, L. DE; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Composição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.321-328, 2006.

FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, L. A.; MARCHESI, D. R. **Sistema de plantio direto de hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. Expressao popular: São Paulo, 2019.

FERREIRA, L. B. ; LOSS, A. ; GIUMBELLI, L. D. ; VENTURA, B. ; SOUZA, M. ; MAFRA, A. L. ; KURTZ, C. ; COMIN, J. J. ; BRUNETTO, G. . Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil e Tillage Research**, p. 1-10, 2018.

FILGUEIRA, F. A. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna para a produção de hortaliças**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 421p.

GARCIA, L. de A. Especificação de fósforo e atributos microbiológicos da rizosfera de soja e trigo em função do preparo do solo. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz. Programa de Pos-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba, SP, 2019.

HAMMERSCHIMIDT, I.; MADEIRA, N. R.; OLIVEIRA, V. R. Cultivo de Cebola em Sistema de Plantio Direto. 1. ed. Curitiba: Instituto Emater, 1, 24p.

HIGASHIKAWA, F.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R. **Conceito de Fertilidade do Solo em SPDH**. in: Sistema de plantio direto de hortaliças - método de transição para um novo modo de produção. Editora Expressão Popular. 432p., 2019.

JUNGES, ANELIZE NUNES. **Uso de fungos micorrizicos arbusculares na produção de mudas de cebola (*Allium cepa* L.)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Centro de Ciências Agroveterinárias. Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo. Lages, SC. 54f. 2012.

KENNEDY, A.; DORAN, J. Sustainable agriculture: role of microorganisms. In: Bitton, G. (Org.) **Encyclopedia of Environmental Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 3116-3126.

LAZZARETTI, G.; MATZUOKA, M.; BETTIO, I.; PAVEGLIO, S.S; SHALLEMBERGER, L.S. Impacto de diferentes sistemas agrícolas e florestal na qualidade química e biológico do solo de uma propriedade rural. **Revista Gestão & Sustentabilidade**. v.8, n.4, 2019.

LOSS, A. et al. Rizosfera e as reações que ocorrem no seu entorno In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. (Org.). **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, p. 175-199, 2019.

LOSS, A. et al. Rizosfera e as reações que ocorrem no seu entorno In: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. (Org.). **Sistema de plantio direto de hortaliças**. Florianópolis: Expressão Popular, p. 175-199, 2019.

LOSS, A.; JUNIOR, E. D. S.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M. D.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Soil physical attributes of onion cultivation under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, 11(1), 105-113, 2017.

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.

MALAVOLTA, E.; MORAIS, M.F. **Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição de plantas cultivadas.** In: Yamada, T.; Abdalla, S.R.S.; Vitti, G.C. (Eds.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira, Piracicaba, p.189-249, 2007.

MASSON, I.; ARL, V.; WUERGES, E.V. **Trajetória, concepção metodológica e desafios estratégicos junto ao Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)** in: Sistema de plantio direto de hortaliças - método de transição para um novo modo de produção. Editora Expressão Popular. 432p. 2019.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, vol.27, n.3, pp.425-433, 2003.

MOORE, A.M., Temperature and moisture dependence of decomposition rates of hardwood and coniferous leaf litter. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.18, p.427 – 435, 1986.

NICHOLS, K. A.; WRIGHT, S. F. Comparison of glomalin and humic acid in eight native US soils. **Soil Science**, v. 170, n. 12, p. 985-997, 2005.

ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. **BioScience**, Londres, v. 35, p. 419-422, 1985.

OLIVEIRA, R. A. et al. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 1, p. 1-16, 2017.

OLIVEIRA, R. A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KURTZ, C.; MULLER, V. M.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Decomposição e liberação de nutrientes de plantas de cobertura e seus efeitos em atributos químicos do solo e produtividade da cebola. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 40, p.1-17, 2016.

PIRES, L. F., BORGES, J. A., ROSA, J. A., COOPER, M., HECK, R. J., PASSONI, S., & ROQUE, W. L. Soil structure changes induced by tillage systems. **Soil and Tillage Research**, 165, 66-79, 2017.

RILLIG, M.C. & MUMMEY, D.L. MYCORRHIZAS AND SOIL STRUCTURE. *New Phytol.*, 171:41-53, 2006.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHIMIDT, W.F.; TORN, M.S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant Soil**. 233:167-177, 2001.

SALTON, J.C.; MIELNICZUCK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008.

SANTOS, L. H.; LOSS, A.; LORENZI, C. R. ; SOUZA, M. ; GONZATTO, R. ; KURTZ, C. ; BRUNETTO, G. ; COMIN, J. J. Nitrógeno total y sustancias húmicas en agregados del suelo cultivado con cebolla bajo siembra directa y preparación convencional. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 12, p. 166-174, 2018.

SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Synergismus scyentifica**, v.9, 2014.

SCHNURER, J.; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied Environment Microbiolology* 43:1256-1261, 1982.

SHARMA, M.P.; ADHLOEYA, A. Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) in an alfisol. **Biology Agriculture Horticulture**, v.18, p.1-14, 2000.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. 142 p

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2nd ed., London: Academic Press, p. 563-567, 1997.

SOUZA M.; COMIN J.J.; LEGUIZAMÓN E.S; KURTZ C.; BRUNETTO G.; MULLER J.R, V.; VENTURA B.; CAMARGO, A. P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Revista Ciência Rural**, v.7, p 21-34, 2013.

SOUZA, M.; MULLER JR., V. ; KURTZ, C. ; BRUNETTO, G. ; COUTO, R.R. ; COMIN, J. J. Weed Emergence in a Soil with Cover Crops in an Agroecological No-Tillage System. **Revista Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.

SOUZA, M.; VARGAS, M.M.; Ventura, B. S.; JÚNIOR, V. M.; SOARES, C. R. F. S.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.; Lovato, P. E. . Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. **CIÊNCIA RURAL**, v. 50, p. 1-11, 2020.

TISDALL J.M; OADES J.M. Matéria orgânica e agregados estáveis em água nos solos. **Journal Soil Science**. v.33, p.141-163, 1982.

TIVET F.; SÁ J.C.M.; LAL R, B. C.; BORSZOWSKI P.R.; SANTOS J.B.; FARIAS A.; HARTMAN D.C.; NADOLNY JUNIOR M.; BOUZINAC S.; SEGUY 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 Till Res**. v.18, p.126-203, 2013.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.609-618, 2005.

VALICHESKI, RR.; GROSSKLAUS, F.; STURNER, S.L.K.; TRAMONTIN, A.L.; BAADE, E.S.A. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **R Bras Eng Agríc Amb.**, v.16, p. 969-977, 2012.

VENTURA, B. S.; SOUZA, M. ; SOARES C. R. F. S.; LOVATO, P. E. ; MEYER. E.; COMIN, J.J. ; SCARSANELLA, J. ; SILVA, A. . Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in an onion no-tillage system. **Revista Ciência Rural**, 2021.

VIDIGAL, S. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; SANTOS, M. R. Produtividade de cebola em cultivo orgânico utilizando composto à base de dejetos de suínos. **Hortic. Bras;** v.28, p.168-173;2010.

WRIGHT, S. F. et al. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 546-549, 2007

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, 198:97-107, 1998.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.& ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: Fernandes, M.S., ed. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.7-52, 2006.