

ANA CAROLINA LOVATEL

**EFEITOS DE FUNGICIDAS NA ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS E NA
FAUNA EDÁFICA EM CULTIVO DE CEBOLA (*Allium cepa* L.)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Osmar Klauberg Filho

**LAGES, SC
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC

Lovatel, Ana Carolina
EFEITOS DE FUNGICIDAS NA ATIVIDADE DE FUNGOS
MICORRÍZICOS E NA FAUNA EDÁFICA EM CULTIVO DE
CEBOLA (*Allium cepa* L.) / Ana Carolina Lovatel. -
Lages , 2017.
123 p.

Orientador: Osmar Klauberg Filho
Co-orientador: Julio Cesar Pires Santos
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência Do Solo, Lages, 2017.

1. Agrotóxicos. 2. Ecotoxicologia. 3. Micorrizas
arbusculares. Fauna edáfica. *Allium cepa* L.. 4.
Fauna edáfica. . 5. *Allium cepa* L.. I. Filho, Osmar
Klauberg. II. Santos, Julio Cesar Pires . , .III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência Do Solo. IV. Título.

ANA CAROLINA LOVATEL

**EFEITOS DE FUNGICIDAS NA ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS E NA
FAUNA EDÁFICA EM CULTIVO DE CEBOLA (*Allium cepa* L.)**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

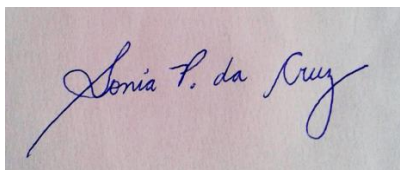
Orientador:

Dr. Osmar Klauberg Filho, UDESC – Lages-SC

Membros internos:

Dr. Álvaro Luiz Mafra, UDESC – Lages-SC

Membros externos:



Dr^a. Sonia Purin da Cruz UFSC-Curitibanos-SC



Dr. Claudinei Kurtz EPAGRI – Ituporanga- SC

Lages, SC 26 de julho de 2017

Aos meus pais, Salete e João;
Meus irmãos, Ricardo e Cleber;
E aos verdadeiros amigos (as) pelo
apoio nos momentos difíceis desta
caminhada compartilhando as
alegrias, conquistas e decisões
tomadas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e pela oportunidade de cumprir e concluir mais uma etapa em minha vida.

Aos meus pais Salete Lourdes Lovatel e João Fortunato Lovatel por todo apoio incondicional para realização deste e dos demais sonhos, pelo carinho, amor, dedicação e principalmente pelos ensinamentos e motivação. Sou imensamente grata por vocês serem meus pais, obrigada por tudo. Aqui incluo meus irmãos Cleber e Ricardo.

A minha madrinha Neiva T. Cervelin, pelas palavras e conselhos ao longo desta etapa. A prima Manoela. Aos meus avós maternos Celvino e Maria, e meus avós paternos Gema e Laurindo (In memoria) pelas risadas e ensinamentos de vida. E os demais familiares.

A todos os amigos e amigas que tive o privilégio de conhecer e conviver em outras etapas, mas não estiveram ausentes nesta etapa, acompanhando todos os momentos. Em especial as minhas grandes amigas, a quem considero como irmãs, Cynthia Akemi Tanaka e Joice Heidemann. Minhas amigas de Ouro pelo companheirismo, apoio, conversas, risos e discussões, Queli Cristina Lovatel, Meiry Pecher, Letícia Lovatel e Cristiane Frigo. Meu grande amigo Gustavo Modolon (BINO) e ao Renato Betto, este principalmente pelas risadas.

A meu professor e orientador Osmar Klauberg Filho, por todos os ensinamentos, conselhos, dedicação e pelas contribuições e parceria nesta caminhada.

Ao Prof. Álvaro Mafra e ao Prof. Julio César Pires Santos por toda assistência durante a execução projeto.

As minhas “mães” da graduação, Gessiane Ceola e Janaína Bröering, e a Priscila Stocco que me adotou no mestrado pela paciência, dedicação e ensinamentos ao longo do período de trabalho no laboratório e fora dele (principalmente).

A toda equipe do laboratório de Ecologia do Solo (CAV-UDESC) pelos ensinamentos e convivência, Gilvani, Vanessa, Julia, Eduardo, Douglas, Ana Maccari, Maiara, Elston, Mariana, Bethânia, Pamela, Camila e Josieli. Em especial ao Márcio pela grande ajuda.

A UDESC, através do Centro de Ciências Agroveterinárias – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, por tornar possível a concretização de um sonho, em uma universidade pública, e de qualidade. Junto agradeço aos professores por todos os conhecimentos transmitidos e pela dedicação para transmitir o ensino e conhecimento. Aqui incluo meu agradecimento aos colegas dos laboratórios de Manejo e Física do solo, Química, Fertilidade, Usos, Gênese do Solo, Análises Ambientais e Rotina.

Aos amigos que adquiri nesta etapa, pessoas que já convivíamos porém nesta etapa se tornaram grandes amigas (os), Diego Roters, Letícia Scopel Camargo Carniel, Rafaela Peron (menina Rafa), muita grata pela paciência e aprendizado.

A toda equipe da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) de Ituporanga-SC, em especial ao Dr. Claudinei Kurtz pela disponibilidade das áreas de coleta dos experimentos e pelo auxílio nas tomadas de decisões na condução do experimento e aos demais funcionários, agradecendo à receptividade de todos.

À Jaqueline Mayer, com que tive o imenso prazer de conhecer e conviver em boa parte deste período. Sou imensamente grata pelas ajudas físicas, mas principalmente pelos conselhos e ajuda psicológica e pelo companheirismo, aqui queria agradecer ao Gustavo de Oliveira, vocês dois com certeza fazem parte de uma boa parte desta caminhada. Obrigado Binos pelas brigas, conselhos, ajudas e “por todas as risadas, por todos os segredos, por todos os abraços e por todos os momentos!”.

A Sabrina Tibolla, Dona Maria Aparecida, pelo apoio, força, conselhos, mas principalmente por escutarem meus desabafos nas horas de fúria, e olha que não foram poucos. Agradeço a Bruna Almeida.

Ao professor Sidney Luiz Stürmer pelos inóculos de FMAs cedidos e apoio financeiro pelo projeto do PRONEM para execução dos experimentos.

Ao programa Ciências sem Fronteiras, pelos recursos destinados ao projeto, através da chamada de projeto MEC/MCTI/CAPES/CNPQ/FAPS nº 61/2011.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos de mestrado.

Enfim, sou imensamente grata de coração a todos que direta ou indiretamente torceram e fizeram parte da minha caminhada, foram imprescindíveis para conclusão de mais essa etapa, cada um à sua maneira. Foi um prazer dividir esta etapa com vocês!

Muito obrigado a todos por tudo!

RESUMO

LOVATEL, Ana Carolina. **Efeitos de fungicidas na atividade de fungos micorrízicos e na fauna edáfica em cultivo de cebola (*Allium cepa* L.)**. 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017.

A cultura da cebola (*Allium cepa* L.) apresenta relevância econômica e social no sul do Brasil, entretanto, são realizadas inúmeras aplicações de agrotóxicos, principalmente fungicidas, que tem como destino final o solo. Além disso, pouco se conhece sobre o risco ecológico destas práticas para a diversidade e funcionalidade da biota do solo. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e a fauna do solo são considerados grupos-chave para manutenção da qualidade do solo por participarem de importantes processos. Os FMA auxiliam a planta na aquisição de nutrientes e água, principalmente o fósforo, promovem a resistência das plantas ao ataque de patógenos, contribuem para a formação e estabilidade de agregados e o sequestro de carbono. A fauna edáfica participa nos processos de fragmentação e decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, no controle biológico, e na estruturação dos solos e sua regulação hídrica. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil na formação e funcionalidade das micorrizas arbusculares e diversidade da fauna edáfica, em solo de plantio direto e convencional cultivado com cebola. Este trabalho é precursor na avaliação dos efeitos destas moléculas em conjunto sobre os organismos do solo. Foi conduzido em condições de semi-campo um experimento em mesocosmos do tipo “terrestrial model ecosystem - TME” em esquema fatorial 3x2 sendo três tratamentos de aplicação de fungicidas (sem aplicação, clorotalonil e clorotalonil + metalaxil) e dois de inoculação de FMA (sem inoculação e com inoculação de uma mistura de *Rhizophagus clarus*, *Claroideoglomus etunicatus*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora morrowiae* e *Acaulospora koskei*). Estes tratamentos foram distribuídos em 36 TMEs de um Cambissolo húmico de plantio direto (PD) e 36 de plantio convencional (PC) de cebola, em delineamento completamente casualizado com 6 repetições. As aplicações de fungicida foram realizadas semanalmente com meia dose do produto como recomendado para a cultura da cebola e utilizado à campo pela maioria dos produtores. Para inoculação foi retirado o solo da superfície do tubo e inoculado com 170 g de uma mistura de FMA. Em seguida foram transplantadas duas mudas de cebola da cultivar “Menina”. O experimento foi conduzido por aproximadamente 110 dias. No capítulo I são apresentados os resultados sobre no estabelecimento e resposta micorrízica da cebola à inoculação com FMA em solo de plantio direto e convencional e no capítulo II são relatados os efeitos sobre diversidade estrutural das comunidades de fauna edáfica. As aplicações dos fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil não influenciaram o estabelecimento da simbiose micorrízica (colonização, produção de hifas e esporulação) e não interferiram nos benefícios da inoculação de populações selecionadas e nativas de FMA na cultura da cebola, em solo de plantio direto e convencional. A inoculação da mistura de FMA aumentou a colonização radicular, independente da aplicação dos fungicidas quando comparada aos tratamentos não inoculados (Capítulo I). As aplicações do clorotalonil e sua associação com metalaxil influenciaram diversidade estrutural das comunidades da mesofauna nos dois sistemas de uso do solo, entretanto, não influenciam a macrofauna (Capítulo II).

Palavras-chave: Agrotóxicos. Ecotoxicologia. Micorrizas arbusculares. Fauna edáfica. *Allium cepa* L.

ABSTRACT

LOVATEL, Ana Carolina. **Effects of fungicides on the activity of mycorrhizal fungi and on edaphic fauna in the onion cultivation (*Allium cepa* L.)**. 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017.

Onion crop (*Allium cepa* L.) has an economic and social relevance in the south of Brazil, however, many applications of agrochemicals, mainly fungicides, which have the soil as final destination. Moreover, little is known about the ecological risk of these practices for the diversity and functionality of soil biota. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and soil fauna are considered key groups for maintaining soil quality by participating in important processes. FMA assists the plant to uptake nutrients and water, especially phosphorus, promote the resistance of plants to attack of pathogens, contribute to the formation and stability of aggregates and carbon sequestration. Edaphic fauna participates in processes of fragmentation and decomposition of the organic matter, in nutrient cycling, biological control, and in structuring of the soils and their water regulation. The objective of this study was to evaluate the effect of the fungicide chlorothalonil and this one associated with metalaxyl in formation and functionality of arbuscular mycorrhizae and diversity of edaphic fauna in no-tillage and conventional tillage soils cultivated with onion. This work is a precursor in evaluation of the effects of these molecules together on soil organisms. In order to do that, an experiment in mesocosmos of the terrestrial model ecosystem (TME) type was carried out in a 3x2 factorial scheme with three fungicide application treatments (without application, chlorothalonil and chlorothalonil + metalaxyl) and two inoculation FMA (without inoculation and inoculation of a mixture of *Rhizophagus clarus*, *Claroideoglossum etunicatus*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora morrowiae* and *Acaulospora koskei*). These treatments were distributed in 36 TMEs of a humid Cambisol of no-tillage (PD) and 36 of onion on conventional tillage (PC), in a completely randomized design with 6 replicates. Fungicide applications were carried out weekly with half a dose of the product as recommended for onion crop and used for the majority of farmers. For inoculation the soil was removed from the surface of the tube and inoculated with 170 g of a mixture of AMF. Then, two onion seedlings of "Menina" cultivar were transplanted. The experiment was conducted for approximately 110 days. In Chapter I, the results on the establishment and mycorrhizal response of onion to FMA inoculation in no-tillage and conventional tillage are presented, and in Chapter II the effects on structural diversity of edaphic fauna communities are reported. Applications of chlorothalonil fungicides and their association with metalaxyl did not influence the establishment of mycorrhizal symbiosis (colonization, hyphae production and sporulation) and did not interfere with inoculation benefits of selected and native AMF populations in onion crop, in no-tillage and conventional tillage soils. The inoculation of the FMA mixture promoted a greater root colonization, independent of the application of fungicides when compared to the uninoculated treatments (Chapter I). Applications of chlorothalonil and its association with metalaxyl have influenced the structural diversity of mesofauna communities in the two systems of land use; however, they do not influence macrofauna (Chapter II).

Keywords: Agrochemicals. Ecotoxicology. Arbuscular mycorrhiza. Edaphic fauna. *Allium cepa* L.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

- Figura 1.1- Esquema de amostragem de solo para caracterização química, física e biológica das áreas de coleta de mesocosmos..... 62
- Figura 1.2- Médias dos valores de colonização micorrízica em raízes de cebola para os FMA testados no solo de plantio direto em TMEs..... 71
- Figura 1.3- Médias da massa seca da parte aérea e de bulbilhos na cebola em solo sob sistema de plantio direto inoculado com fungos micorrízicos arbusculares..... 71
- Figura 1.4- Médias de fósforo acumulado na parte aérea (P acum. PA) e fósforo acumulado no bulbilho (P acum. bulb.) das plantas de cebola no solo de plantio direto em TMEs..... 72
- Figura 1.5- Médias dos teores de nitrogênio no solo de plantio direto com cebola de TMEs, sob os tratamentos de FMA e fungicidas..... 72
- Figura 1.6- Médias dos teores de carbono no solo de plantio direto com cebola em TMEs, sob os tratamentos de FMA e fungicidas..... 73
- Figura 1.7- Médias dos diâmetros médios ponderados (DMP) dos agregados na camada de 10 a 20 cm no solo de plantio direto com cebola de TMEs, sob os tratamentos de FMA..... 74
- Figura 1.8- Médias da massa seca da parte aérea das cebolas para os fungicidas testados no solo de plantio convencional nos TMEs..... 76
- Figura 1.9- Médias da relação parte aérea:raiz das cebolas para os fungicidas testados no solo de plantio convencional nos TMEs..... 77
- Figura 1.10- Médias dos teores de nitrogênio no solo de plantio convencional com cebola de TMEs, sob os tratamentos de FMA e fungicidas..... 77
- Figura 1.11- Médias dos teores de carbono no solo de plantio convencional com cebola de TMEs, sob os tratamentos de fungicidas testados..... 78
- Figura 1.12- Diâmetro médio ponderado dos agregados na camada de 10 a 20 cm no solo de plantio convencional com cebola de TMEs, sob os tratamentos de fungicidas..... 78

Capítulo II

- Figura 2.1- Esquema de amostragem de solo para caracterização da fauna edáfica das áreas de coleta de mesocosmos..... 92

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1.1- Valores médios das características químicas, físicas e biológicas do solo nas áreas de plantio direto e plantio convencional de cebola em Ituporanga, SC. (n = 6)..... 64

Tabela 1.2- Ingrediente ativo, composição, sistema de ação, titular dos registros, quantidade de calda preparada por hectare, dose recomendada por hectare para cultura da cebola, quantidade de produto comercial e de ingrediente ativo usados no experimento e doenças que os fungicidas usados combatem..... 65

Tabela 1.3- Espécies/isolados de fungos micorrízicos arbusculares e, origem, sistema, quantidade de inoculante misto (Q-Inoc) e número de esporos por cm³ de cada inoculante..... 66

Tabela 1.4- Resultado da análise de variância fatorial para colonização micorrízica, produção de esporos e comprimento de micélio extrarradicular total (CMET) no solo de plantio direto em TMEs com cultivo de cebola..... 70

Tabela 1.5- Resultado da análise de variância fatorial para efeitos de biomassa e nutrição da cebola no solo de plantio direto em TMEs com cultivo de cebola..... 70

Tabela 1.6- Resultado da análise de variância fatorial para nutrientes do solo e agregação no solo de plantio direto em TMEs com cultivo de cebola..... 70

Tabela 1.7- Resultado da análise de variância fatorial para colonização micorrízica, produção de esporos e CMET no solo de plantio convencional em TMEs com cultivo de cebola..... 75

Tabela 1.8- Resultado da análise de variância fatorial para efeitos de biomassa e nutrição da cebola no solo de plantio convencional em TMEs com cultivo de cebola..... 75

Tabela 1.9- Resultado da análise de variância fatorial para nutrientes do solo e agregação no solo de plantio convencional em TMEs com cultivo de cebola..... 76

Capítulo II

Tabela 2.1- Ingrediente ativo, composição, sistema de ação, titular dos registros, quantidade de calda preparada por hectare, dose recomendada por hectare para cultura da cebola, quantidade de produto comercial e de ingrediente ativo usados no experimento e doenças que os fungicidas usados combatem..... 94

Tabela 2.2- Espécies/isolados de fungos micorrízicos arbusculares e, origem, sistema, quantidade de inoculante misto (Q-Inoc) e número de esporos por cm³ de cada inoculante..... 95

Tabela 2.3- Médias da abundância da macrofauna (nº de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total e índices de diversidade da macrofauna em solos de plantio direto em cebola submetidos a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n = 6)..... 98

Tabela 2.4- Médias da abundância da macrofauna (nº de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total e índices de diversidade da macrofauna em solos de plantio convencional em cebola submetidos a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n = 6)..... 99

Tabela 2.5- Contribuição (%), contribuição acumulativa (%) e média da abundância (nº. de indivíduos) dos grupos responsáveis pela dissimilaridade observada na camada de 0 a 10 cm no solo de plantio direto dentro das combinações de tratamentos testadas. ($p < 0,05$)..... 101

Tabela 2.6- Contribuição (%), contribuição acumulativa (%) e média da abundância (nº. de indivíduos) dos grupos responsáveis pela dissimilaridade observada na camada de 0 a 10 cm no solo de plantio convencional dentro das combinações de tratamentos testadas. ($p < 0,05$)..... 102

Tabela 2.7- Médias de abundância da mesofauna na camada de 0 a 10 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio direto de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)..... 103

Tabela 2.8. Médias de abundância da mesofauna na camada de 0 a 10 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio convencional de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)..... 104

Tabela 2.9- Contribuição (%), contribuição acumulativa (%) e média da abundância (nº. de indivíduos) dos grupos responsáveis pela dissimilaridade observada na camada de 10 a 20 cm no solo de plantio convencional dentro das combinações de tratamentos testadas. ($p < 0,05$)..... 106

Tabela 2.10- Médias de abundância da mesofauna na camada de 10 a 20 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio direto de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)..... 107

Tabela 2.11- Médias de abundância da mesofauna na camada de 10 a 20 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio convencional de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)..... 108

APÊNDICES

- Apêndice 1.1- Variáveis que não apresentam diferenças estatísticas para os tratamentos de FMA e fungicidas clorotalonil (CLT) e clorotalonil mais metalaxil (CLT+M) no solo de plantio direto no ensaio com TMEs..... 120
- Apêndice 1.2- Correlações de Pearson comparando as variáveis explicativas (na linha diagonal) e as variáveis de resposta (na linha horizontal), dos tratamentos com solo de plantio direto do experimento com cebolas em TMEs..... 121
- Apêndice 1.3- Variáveis que não apresentam diferenças estatísticas para os tratamentos de FMA e fungicidas clorotalonil (CLT) e clorotalonil mais metalaxil (CLT+M) no solo de plantio convencional no ensaio com TMEs..... 122
- Apêndice 1.4- Correlações de Pearson comparando as variáveis explicativas (na linha diagonal) e as variáveis de resposta de planta e FMA (na linha horizontal), dos tratamentos de PD do experimento com cebolas em TMEs..... 123

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	27
1.1 HIPÓTESES	29
1.2 OBJETIVO GERAL.....	29
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	31
2.1 CULTURA DA CEBOLA	31
2.2 ORGANISMOS DO SOLO	32
2.2.1 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....	33
2.2.2 Fauna do solo	35
2.3 AGROTÓXICOS	36
2.4 EFEITOS DOS FUNGICIDAS NOS ORGANISMOS DO SOLO	38
2.5 USOS DO SOLO.....	41
2.6 USO DE ENSAIOS DE SEMI-CAMPO COM TERRESTRIAL MODEL ECOSYSTEMS (TMES).....	43
REFERÊNCIAS	45
3 CAPÍTULO I - APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA CULTURA DA CEBOLA (<i>Allium cepa</i> L.)	57
3.1 INTRODUÇÃO.....	59
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3.3 RESULTADOS	69
3.4 DISCUSSÃO	79
3.5 CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS	83

4 CAPÍTULO II - EFEITOS DA APLICAÇÃO DO FUNGICIDA CLOROTALONIL E SUA ASSOCIAÇÃO COM METALAXIL NA FAUNA EDÁFICA DO SOLO EM CULTIVO DE CEBOLA (<i>Allium cepa</i> L.).....	87
4.1 INTRODUÇÃO.....	89
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	90
4.3 RESULTADOS	97
4.4 DISCUSSÃO	108
4.5 CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICES	120

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura ao longo dos anos vem buscando maiores índices de produtividade nos mais diversos setores de produção. Neste contexto a horticultura brasileira gera renda e oportunidades principalmente para pequenos agricultores. O Mapa estima que, em média, cada hectare de hortaliças propicie entre três e seis oportunidades diretas de trabalho no campo, e outras tantas de forma indireta. Se 32 hortaliças pesquisadas pela Embrapa ocupam perto de 800 mil hectares, a atividade olerícola envolveria na verdade por volta de 7 milhões de pessoas em todas as regiões (ABH, 2016), movimentando 17 bilhões de reais ao ano (ANDEF, 2015).

Dentre as hortaliças produzidas no Brasil destaca-se a cultura da cebola (*Allium cepa* L.) que é a terceira hortaliça em importância econômica, e o estado de Santa Catarina (SC) é o maior produtor nacional de cebola (EPAGRI, 2017).

A cultura da cebola está sujeita à ação de grande número de pragas e patógenos, necessitando de um montante considerável e diversificado de aplicações de agrotóxicos, que são necessários para garantir bons resultados de produtividade. Entretanto, a aplicação indiscriminada de agrotóxicos oferece risco a qualidade do solo, com efeitos principalmente nas camadas superficiais as quais abrigam uma vasta biodiversidade de organismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes e das quais as plantas retiram os nutrientes para o seu crescimento e desenvolvimento (COSTA et al., 2004).

Dois grupos-chaves de organismos do solo destacam-se por sua importância em agrossistemas: os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e a fauna edáfica. Os FMA são membros importantes do sistema solo-planta, uma vez que a própria diversidade desses fungos está intimamente ligada à diversidade e à produtividade de comunidades vegetais (DE SOUZA et al., 2008). Os FMA formam simbiose mutualística, denominada micorriza arbuscular (MA), com espécies da maioria das famílias de plantas. Nessa simbiose, a planta supre o fungo com energia para crescimento e reprodução via fotossintatos, e o fungo provê a planta e o solo com uma gama de serviços (SOUZA et al., 2007). A fauna do solo, por sua vez tem papel-chave na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, manutenção da estrutura física e regulação de populações entre outros (BARETTA et al., 2011).

Dentre os agrotóxicos aplicados na cultura da cebola os fungicidas destacam-se por seus efeitos nas comunidades de organismos presentes no solo. Eles podem afetar diretamente

a eficiência da simbiose micorrízica e o seu papel na sustentabilidade dos agrossistemas, retardando e/ou inibindo o estabelecimento da colonização radicular (infecção e disseminação) e alterando a composição específica das comunidades dos FMA (CARRENHO et al., 2010).

Na fauna do solo, os fungicidas podem ter efeitos negativos, não interferir ou até beneficiar grupos de organismos específicos. Frampton et al. (2006) observaram que o fungicida Carbendazim é mais prejudicial para os oligoquetas e nematoides (mais sensíveis) que para os artrópodes. Porém, estas variações entre os efeitos sobre estes grupos dependem da dose utilizada, tempo de persistência dos fungicidas no solo e tipo de solo. Os efeitos dos fungicidas sobre estes dois grupos de organismos do solo são inconclusivos, pois podem variar com o princípio ativo, sua intensidade de uso, associação com outros agrotóxicos, tipo de solo, etc.

Neste sentido este trabalho objetivou avaliar os efeitos de aplicações dos fungicidas clorotalonil (formulação comercial Bravonil ultrex®) e em associação com metalaxil-M (Ridomil gold bravo®) no estabelecimento e funcionalidade das micorrizas arbusculares e sobre a diversidade da fauna edáfica, em solo de plantio direto e convencional de cebola.

Diante do explanado acima, o presente trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV/UDESC), realizando experimento de semi-campo em unidades denominadas Modelos de Ecossistemas Terrestres (Terrestrial Model Ecosystems – TMEs), que são sistemas controlados que buscam simular as condições presentes no campo.

1.1 HIPÓTESES

A aplicação contínua dos fungicidas clorotalonil e sua mistura com metalaxil ao longo do ciclo da cebola:

1. Afeta a formação da simbiose micorrízica e seus efeitos sobre o crescimento e nutrição da cultura.
2. Interfere nos benefícios da inoculação de populações selecionadas de FMA.
3. Altera a diversidade estrutural das comunidades da fauna edáfica.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos de aplicações dos fungicidas clorotalonil (Bravonil Utrex®) e em mistura com metalaxil-M (Ridomil Gold Bravo®) sob a formação e funcionalidade das micorrizas arbusculares e sobre a fauna edáfica, em solo de plantio direto e convencional de cebola, crescimento e nutrição da cultura.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Avaliar o efeito do fungicida clorotalonil e sua mistura com metalaxil-M no estabelecimento e resposta micorrízica da cebola à inoculação com FMA em solo de plantio direto e convencional (Capítulo I).

2. Avaliar os efeitos de aplicações do fungicida clorotalonil e sua mistura com metalaxil-M sobre diversidade estrutural das comunidades da fauna edáfica em solo de plantio direto e convencional (Capítulo II).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CULTURA DA CEBOLA

No mundo, a cultura da cebola (*Allium cepa* L.) é a terceira hortaliça em importância econômica, sendo amplamente cultivada para consumo fresco, como condimento ou na forma industrializada (LEITE, 2014). Segundo dados da FAO 2016, a produção mundial de cebola em 2014 foi de 88,4 milhões de toneladas sendo a China (25%) e a Índia (22%) os maiores produtores mundiais. Juntos, esses países produziram 47% da produção mundial. O Brasil produziu 1,64 milhão de toneladas, o que representa cerca de 2% da produção mundial, colocando-o como 7º maior produtor mundial do bulbo.

A cultura da cebola no Brasil destaca-se, ao lado da batata e do tomate, como a hortaliça economicamente mais importante, tanto pelo volume produzido como pela renda gerada. A grande importância desta hortaliça está ligada principalmente ao seu aspecto social e econômico. De acordo com Kurtz (2008), na região Sul do país a cebola pode ser avaliada pela significativa geração de emprego e renda e, conseqüente fixação do agricultor no meio rural por ser uma atividade predominantemente em regime familiar. Estima-se que 70 % da cebolicultura brasileira seja proveniente da agricultura familiar, principalmente nas regiões Sul e Nordeste, envolvendo cerca de 60 mil famílias que têm a cebolicultura como atividade principal (BOEING, 2002).

No ano de 2016, o Brasil plantou 57 mil hectares de cebola, alcançando rendimento médio de 28 mil kg ha⁻¹ e produção de quase 1,6 milhões de toneladas. A região com maior destaque foi a Sul (50%), seguida das Sudeste (24%), Nordeste (18%) e Centro Oeste (8%). Dos três Estados do Sul, Santa Catarina ganha notoriedade, sendo responsável por 34 da produção nacional (IBGE, 2017).

Santa Catarina apresenta uma região tradicional de produção, representada principalmente por municípios do Alto Vale do Itajaí, da Grande Florianópolis e do Planalto Catarinense, seguida do Planalto Norte e meio oeste. Na última safra o estado de Santa Catarina alcançou o recorde com 630 mil toneladas produzidas, deste montante o destaque foi o município de Ituporanga com 4,2 mil hectares plantados produzindo 126 mil toneladas, já a microrregião de Ituporanga produziu 233 mil toneladas produzidas em 8,1 mil hectares (EPAGRI, 2017).

2.2 ORGANISMOS DO SOLO

O solo é um ecossistema complexo constituído pela associação de diversos elementos: água, minerais, gases, seres vivos e matéria orgânica, que formam uma matriz tridimensional (SOUZA et al., 2015). De acordo com Aquino (2006), um ecossistema é um sistema funcional de relações entre os organismos e o ambiente, onde existe um equilíbrio pela regulação interna de fluxo de energia.

Os componentes estruturais mais básicos dos ecossistemas são fatores bióticos – organismos vivos que interagem no ambiente – e fatores abióticos – componentes químicos e físicos não vivos do ambiente, como solo, luz, umidade e temperatura (ODUM, 1988).

Em termos de organização das partes que compõem o ecossistema, temos os indivíduos, as populações (conjunto de indivíduos da mesma espécie), a comunidade (conjunto de populações) e o ecossistema propriamente. Esses quatro níveis de organização podem ser aplicados também aos agroecossistemas. Vale ressaltar que agroecossistema é definido como um “ecossistema agrícola” seja esse com práticas ecológicas ou não (ODUM, 1983).

A qualidade do ecossistema solo pode ser identificada, em parte, pela diversidade dos organismos que nele habitam. Essa interferência pode ser clara em processos tais como na decomposição, ou menos óbvia como no caso da textura e estrutura do solo ou capacidade de retenção de água. Tanto os microrganismos como a fauna de solo são capazes de modificar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (PANKHURST e LYNCH, 1994).

Muitos processos biológicos importantes para a manutenção da vida na Terra ocorrem no solo. Entre esses processos, pode-se destacar a formação de agregados, a decomposição da matéria orgânica, a formação de húmus, a ciclagem de nutrientes, o controle biológico de pragas e de doenças, a bioturbação, a produção de metabólitos secundários, a decomposição de resíduos tóxicos, a purificação da água e a produção de alimentos. Todos esses processos são mediados pelos organismos do solo (BIGNELL *et al.*, 2010; KORASAKI *et al.*, 2013).

Os serviços ecossistêmicos prestados pelo solo estão inseridos nas categorias de 1) serviços de suporte (ciclo de nutrientes e da água, formação do solo e de suporte à biodiversidade), 2) serviços de regulação (controle biológico de pestes e doenças, regulação do clima e controle hidrológico), 3) serviços de provisão (reciclagem e desintoxicação de resíduos, filtragem de nutrientes e contaminantes, produção de biomassa e matéria prima, provisão de água limpa) e 4) serviços culturais (recreação e benefícios cognitivos)

(JÓNSSON e DAVÍÐSDÓTTIR, 2016). A diversidade de serviços ecossistêmicos do solo depende, também, da complexa rede de funções desempenhadas por seus inúmeros organismos, muitos dos quais ainda são desconhecidos (WURST; DEYN; ORWIN, 2012) que refletem a qualidade do solo.

A qualidade do solo é definida como a capacidade deste em funcionar dentro do ecossistema, visando a sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais (DORAN e PARKIN, 1993). Os organismos que habitam o solo são sensíveis às modificações de qualquer natureza (física, química e biológica) que ocorrem no meio, podendo ser utilizados como indicadores de sua qualidade, por meio dos processos no solo relacionados com o manejo adotado (BARETTA et al., 2006).

2.2.1 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Os FMA, (Filo Glomeromycota, Classe Glomeromycetes) são organismos biotróficos obrigatórios, que se associam às raízes de plantas vasculares terrestres epífitas, aquáticas e também com rizoides; talos de briófitas e outros vegetais basais, formando a relação simbiótica mutualista denominada micorriza arbuscular e micotalia, para vegetais com e sem raízes (SCHÜBLER et al., 2001).

Constituem um grupo monofilético com quatro ordens, Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales e Paraglomerales e nove famílias, Glomeraceae, Pacisporaceae, Acaulosporaceae, Diversisporaceae, Gigasporaceae, Claroideoglomeraceae, Paraglomaceae, Archaeosporaceae, Ambisporaceae (REDECKER et al., 2013). Com cerca de 288 espécies já descritas (ÖPIK e DAVISON, 2016), o grupo é abundante em solos naturais e agrícolas, representando cerca de 10% da biomassa microbiana (FITTER; HELGASON; HODGE, 2011). Além disso, os FMA têm ampla distribuição no planeta.

Devido a ampla distribuição dos FMA, estudos como o de Davison et al. (2015), que ao avaliar amostras ambientais de todos os continentes observaram que 93% dos taxa de FMA amostrados estavam presentes em mais de um continente e 34% presentes em todos os continentes.

As estruturas formadas pelos FMA (esporos, hifas internas e externas, arbúsculos e vesículas) exercem papel importante no estabelecimento da micorriza arbuscular (MA) e nas funções de armazenamento, dispersão e sobrevivência destes organismos (BRUNDRETT et al., 1996).

Essas estruturas, são importantes no estabelecimento e sucesso da MA, a raiz da planta hospedeira (com fatores tais como comprimento, diâmetro, ramificação e densidade da raiz, capacidade de distribuição de nutrientes e a distribuição de carbono para a interface simbiótica, envolvida na transferência de nutrientes) e as condições abióticas (com fatores tais como disponibilidade de nutrientes, intensidade de luz, densidade e competição das plantas e condições estressoras – salinidade, contaminação e compactação do solo, etc.) (BRUNDRETT et al., 1996; SMITH e READ, 2008; SMITH e SMITH, 2011).

Os esporos são estruturas de sobrevivência, dispersão e importantes para o início de novas colonizações (MAIA; SILVA; GOTO, 2010; CUENCA, 2015). Quando germinam, influenciados por fatores como pH, temperatura, umidade, nutrientes minerais e orgânicos, plantas hospedeiras e micro-organismos, dão origem a uma rede micelial que pode atingir grandes extensões (GIOVANNETTI; AVIO; SBRANA, 2010). As hifas desta rede micelial se ramificam supostamente induzidas pela exsudação de determinados compostos pelas raízes das plantas (LAMBAIS e RAMOS, 2010). Quando em contato com as células epidérmicas da raiz, forma-se o apressório e desenvolve-se uma hifa penetrante que coloniza o córtex da raiz da planta de forma intra e/ou intercelular (BONFANTE e GENRE, 2008). A colonização intercelular origina os arbúsculos (estruturas que atuam no processo de troca de metabólitos e nutrientes entre os simbioses) e a colonização intracelular pode originar vesículas (corpos globosos ricos em lípidos e que supostamente possuem a função de reserva), formadas por somente 80% das espécies de FMA (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; SMITH e READ, 2008; LAMBAIS e RAMOS, 2010).

A ação sinérgica das fases intrarradicar (vesícula, hifa, arbúsculo) e extrarradicar (hifa, esporo) do fungo são responsáveis pelo significado ecológico dos FMA, um grupo chave no ciclo solo-raiz-microrganismo (BONFANTE et al., 2010). Nesta simbiose a planta supre o fungo com energia para seu crescimento e reprodução via compostos de carbono provenientes da fotossíntese, e o fungo fornece a planta e ao solo vários benefícios: plantas colonizadas com FMA têm sua zona de depleção de nutrientes ampliada e podem ter aumentos na absorção de nutrientes inorgânicos, como fósforo (QUEREJETA et al., 2007) e nitrogênio (LEHMANN e RILLIG, 2015).

Os fungos também auxiliam na resistência das plantas ao ataque de patógenos do sistema radicular e na capacidade de absorção de água (POZO e AZCON AGUILAR, 2007). Os FMA acumulam carbono (Rillig et al., 2001) e contribuem para o aumento da biomassa

microbiana no solo, favorecendo o processo de sequestro de carbono na atmosfera (SMITH e READ, 2008). Ainda no solo estes fungos contribuem para a formação e estabilidade de agregados resultantes da ação física do micélio fúngico e da glomalina, que é uma glicoproteína produzida pelo fungo (RILLIG e MUMMEY, 2006). Os FMA podem disponibilizar para as plantas 80% de P, 60% de Cu, 25% de N, 25% de Zn e 10% de K presentes na solução do solo (MARSCHNER e DELL, 1994).

Diferentes mecanismos podem ser mediados pelos FMA para aumentar a tolerância das plantas a estresses abióticos (como seca, salinidade, condições quentes e frias e diante da presença de metais pesados) e estes mecanismos podem variar conforme o tipo de estresse a que a planta está submetida (LATEF et al., 2016). Além disso, estudos de Mardhiah et al. (2016) identificaram que os FMAs podem reduzir as perdas de solo em processos de erosão, fator importante em eventos de escoamento superficial e intimamente envolvido com a estabilidade do solo.

2.2.2 Fauna do solo

A fauna do solo, ou fauna edáfica, compreende os invertebrados que vivem no solo durante toda a vida ou em longo estágio de seu ciclo biológico (AQUINO *et al.*, 2008; BROWN *et al.*, 2009; BARETTA et al., 2011). Esses invertebrados variam muito em tamanho e diâmetro, o que lhes confere habilidade diferenciada na sua estratégia de alimentação e adaptação ao hábitat. Dessa forma, o tamanho define a extensão em que a atividade dos mesmos (alimentação e escavação) pode modificar as propriedades do solo (ANDERSON, 1988), e também a amplitude em que podem ser influenciados pelo manejo do solo.

Na classificação da fauna do solo a metodologia mais empregada pelos pesquisadores é a proposta por Swift et al. (1979), em que os grupos que contêm a biota do solo são classificados de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar, função que desempenham no solo e, principalmente, pelo seu tamanho.

A microfauna compreende invertebrados de diâmetro do corpo inferior a 100 μm , incluindo os protozoários e nematoides. Esses animais alimentam-se de microrganismos, o que faz com que tenham importante papel na regulação da matéria orgânica (SWIFT et al., 1979).

A mesofauna compreende invertebrados de tamanho médio (100 μm – 2 mm), taxonomicamente diversos, incluindo Ácaros e Colêmbolos (dois dos mais representativos),

Protura e Diplura. Esses animais habitam os espaços porosos do solo e não são capazes de criar sua própria galeria, sendo por isso particularmente afetado pela compactação do solo (HEISLER e KAISER, 1995). Esse grupo também é importante na regulação da decomposição da matéria orgânica ao promoverem a remoção seletiva de microrganismos (VISSER, 1985; MOORE e WALTER, 1988).

Já na macrofauna uma grande diversidade de organismos que compõe esse grupo, os quais se caracterizam por possuir o corpo com tamanho geralmente superior a 2 mm. Os componentes desse grupo criam estruturas específicas que permitem sua movimentação no solo, graças ao seu hábito escavatório, promovendo a formação de buracos, galerias e ninhos, além da deposição de coprólitos e fezes, que tem efeito sobre a estrutura e fertilidade do solo. Além disso, esses macro organismos são conhecidos também como "engenheiros do ecossistema", pelas funções que exercem (JIMÉNEZ et al., 2006; JOUQUET et al., 2006).

Atuam também na fragmentação e distribuição dos resíduos vegetais (Swift et al., 1979). Os grupos mais representativos nesta classificação são as minhocas, as formigas (Hymenoptera: Formicidae) e os térmitas (Isoptera). Os cupins, as formigas, as minhocas e os besouros se destacam, pois atuam não somente como detritívoros, quebrando o material vegetal em frações menores e facilitando a ação decompositora dos microrganismos, mas também agem na formação e estruturação do solo, constituindo um grupo funcional chamado de “engenheiros- do-solo” (VAZ DE MELO et al., 2009).

Em locais com maior diversidade de espécies vegetais há serapilheira mais rica e heterogênea, propiciando recurso alimentar de melhor qualidade e nichos diferenciados para o estabelecimento da fauna de solo, decorrendo disso a ocorrência de um maior número de grupos funcionais e taxonômicos, e maior riqueza de espécies (LAVELLE, 1996; CORREIA, 2002; VAZ DE MELO et al., 2009).

2.3 AGROTÓXICOS

Os agrotóxicos são considerados extremamente relevantes no modelo de desenvolvimento da agricultura no mundial. O Brasil é o maior consumidor de produtos agrotóxicos no mundo (BRASIL, 2017). Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa vegetal, as importações de agrotóxicos atingiram no primeiro semestre de 2016 um montante de 161.704 toneladas, destes os destaques foram para os herbicidas e fungicidas (SINDVEG, 2016). No ano de 2015, o país obteve um valor de 9,6 bilhões de

dolares com as vendas de defensivos agrícolas, com um total de 887 mil toneladas de produto comercial e 395,7 mil toneladas de ingrediente ativo.

No Brasil a lei que regulamenta o uso de agrotóxicos é a Lei Federal nº 7082 de 11 de julho de 1989 através do decreto de nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, estabelecendo que agrotóxicos e afins são definidos como os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas, e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos ou ainda substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 2002).

O consumo desses produtos difere nas várias regiões do país, sendo mais usados nas regiões Centro-Oeste (cerca de 30%), Sul (24%) e Sudeste (23%) (IBAMA, 2014). Os estados que mais se destacam quanto à utilização de agrotóxicos são Mato Grosso (17,5% do total), São Paulo (15%), Paraná (12%), Rio Grande do Sul (10%), Goiás (7%) e Minas Gerais (6%) (IBAMA, 2014). Com relação à quantidade total de ingredientes ativos, as culturas agrícolas nas quais mais se aplicam agrotóxicos são soja (52% do total), cana-de-açúcar (10%), milho (10%), algodão (7%), café (3%), feijão (2%), arroz irrigado (2%), pastagens (2%), trigo/cevada/centeio (3%) e outras (9%) (SINDAEG, 2016).

Os agrotóxicos podem ser classificados, de acordo com a praga a que se destinam, como por exemplo: inseticidas, larvicidas, formicidas, acaricidas, carrapaticidas, nematocidas, moluscicidas, rodenticidas, raticidas, avicidas, fungicidas, herbicidas (ALMEIDA, 1985). Ou ainda de acordo com a quanto à periculosidade ambiental, em classes definidas pela ANVISA, que variam de I a IV: produtos impeditivos de obtenção de registro, produtos altamente perigosos ao meio ambiente (Classe I); produtos muito perigosos ao meio ambiente (Classe II); produtos perigosos ao meio ambiente (Classe III); e produtos pouco perigosos ao meio ambiente (Classe IV) (PERES et al., 2003).

Fungicidas são substâncias químicas, de origem natural ou sintética que nem sempre matam os fungos propriamente, há os antiesporulantes, que inibem a produção de esporos, bem como os que inibem a germinação de esporos por determinado tempo. Estes também nem sempre atingem somente os alvos que são causadores de prejuízos, das doenças propriamente dito, podem atingir e matar os fungos benéficos como os FMA.

Do latim, *fungus* = fungo + *caedo* = matar (matador de fungo); substância química que mata fungos. A palavra fungicida pode sugerir que estes compostos químicos matam todos os

tipos de fungos com maior ou menor seletividade. Porém, isso não é verdade, pois ainda não se dispõem de um único fungicida que mate todos os fungos indistintamente de suas posições taxonômicas (REIS et al., 2007).

A cultura da cebola está sujeita à ação de grande número de pragas e patógenos, necessitando de um montante considerável e diversificado de aplicações de agrotóxicos, que são necessários para garantir bons resultados de produtividade, assim o uso destes compostos tem se expandido cada vez mais. Nas principais regiões de cultivo no Brasil, tem se caracterizado pelo uso intensivo do solo, emprego crescente de agroquímicos e poucas práticas culturais que possam oferecer sustentabilidade ao sistema produtivo (EPAGRI, 2000).

Segundo Boff et al. (2005), as aplicações de agrotóxicos na cultura da cebola no estado de Santa Catarina, onde o controle que antigamente era feito com duas ou três aplicações de fungicidas, se passou a utilizar mais de 15 intervenções no mesmo ciclo de cultivo.

Devido ao grande montante de agrotóxicos necessário e aplicados para controlar doenças patogênicas, pode haver o risco de poluição ambiental, bem como interferência destes de forma negativa sobre os organismos benéficos como os FMA e a fauna.

Embora o uso de agrotóxicos seja necessário para garantir os bons resultados de produtividade, o uso destes compostos tem se expandido cada vez mais. O uso intensivo de agrotóxicos pode causar degradação dos recursos naturais, em alguns casos de forma irreversível, levando a desequilíbrios biológicos e ecológicos, dentre eles a contaminação de lençóis freáticos e aquíferos (JARDIM et al., 2009).

Os agrotóxicos podem ser potenciais poluentes do solo, uma vez que são aplicados diretamente nas plantas ou no solo, e mesmo aqueles aplicados diretamente nas plantas têm como destino final o solo, sendo lavados das folhas através da ação da chuva ou da água de irrigação (SCORZA JUNIOR et al., 2010).

2.4 EFEITOS DOS FUNGICIDAS NOS ORGANISMOS DO SOLO

A cebola está sujeita a uma série de doenças que podem atacar as mais diversas partes da planta. Algumas destas doenças podem causar grandes perdas, tornando-se fatores limitantes ao cultivo se medidas de controle adequadas não forem adotadas, dentre as doenças

fúngicas destacam-se a mancha-púrpura (*Alternaria porri*) e o míldio (*Peronospora destructor*) (GAVA e TAVARES, 2007).

A mancha-púrpura é uma das doenças mais frequentes e importantes em condições de clima quente e úmido. Atualmente encontra-se disseminada por todas as áreas de produção do país. Os danos provocados pela doença refletem na produção, conservação dos bulbos e na produção de sementes. A redução na produção, que pode chegar a 50%. Em geral, maior incidência da doença tem sido observada no final do ciclo da cultura (PEREIRA et al., 2014).

Segundo os mesmo autores, o míldio da cebola, ocorre geralmente em condições de temperaturas amenas e alta umidade relativa, comuns do Sul do país. As perdas devido à epidemia de míldio podem chegar a 75% da produção de bulbos, devido à velocidade com que o patógeno se propaga na cultura.

Para o controle dessas duas doenças são usados alguns fungicidas, que podem ser classificados devido ao modo de ação empregando aos mesmos vários adjetivos: fungistático, antiesporulante (ou genestático), preventivo, protetor, de contato, curativo, erradicante, tópico, loco-sistêmico, de profundidade, mesostêmico, sistêmico, etc (REIS e BRESOLIN, 2007).

Os fungicidas de contato que são aqueles que visam atingir o fungo em sua fase de repouso, tanto antes como após o fungo ter encontrado o sítio de infecção. São aqueles compostos aplicados quando os esporos ou inóculo está presente na superfície da planta na estação de dormência das espécies frutíferas que entram em repouso no inverno, derrubando as folhas e permitindo a aplicação de produtos fitotóxicos. Ao entrar em contato com qualquer tipo de inóculo de fungos (esporos, esporos dormentes, micélio) são absorvidos matando o fungo e não requerem a germinação (REIS e BRESOLIN, 2007).

Os fungicidas sistêmicos segundo o mesmo autor são aquelas substâncias absorvidas pelas raízes e pelas folhas, sendo, posteriormente, translocados pelo sistema condutor da planta via xilema e floema. Translocação é o movimento do composto químico dentro do corpo da planta para tecidos distantes do local da deposição.

O clorotalonil (2,4,5,6-tetracloroisofaltonitrilo) é um fungicida foliar de amplo espectro, não sistêmico (contato), usado extensivamente para controlar infestações fúngicas em diversas culturas, incluindo espécies frutíferas, hortícolas e ornamentais, além de alguns tipos de grãos (soja e feijão) e cereais (arroz e trigo). Registrado também para uso como aditivo em tintas anti-incrustantes (CHAVES et al., 2007; CASTRO et al., 2011; VAN SCOY e TJEERDEMA 2014). Atualmente, esse ingrediente ativo é o terceiro fungicida mais vendido no país (SOUZA, 2016).

O clorotalonil, é considerado pouco persistente no ambiente, apresentando valores de meia-vida de dissipação que variam de 5 a 36 dias (SUN et al., 1985; SATO e TANAKA, 1987; WALKER et al., 1988; TAKAGI et al., 1991; KATAYAMA et al., 1997; MOTONAGA et al., 1998; VAN DER PAS et al., 1999), reflexo da rápida transformação microbiológica e da elevada formação de resíduos ligados, resultante da alta taxa de sorção dessa molécula (REGITANO et al., 2001).

O metalaxil [metil D,L,N-(dimetilfenil)-N-(2-metoxiacetil) alaninato], fungicida sistêmico do grupo dos alaninatos (acilaninas), com classe toxicológica variando de II a IV, dependendo de sua formulação e comercialização sob vários nomes, incluindo Ridomil[®], Apron[®], Fonganil Neu[®]. Este ingrediente ativo é extensivamente utilizado na agricultura brasileira, em fruticultura, plantas ornamentais e hortaliças (GELMINI, 1991; SPESSOTO et al., 2000; PAPINI e ANDRÉA, 2001; SPESSOTO, 2002).

A meia-vida do metalaxil tem sido descrita como variável, podendo ser alguns dias até meses. Por exemplo, estudos realizados com microrganismos isolados de solos com histórico de aplicação do metalaxil apresentaram meia-vida de 14 dias (BAILEY e COFFEY, 1986), enquanto que estudos sobre a mineralização do fungicida, considerando solos com diferentes teores de areia apresentaram meia-vida entre 69 e 159 dias (WANG *et al.*, 1995). Segundo Spessoto (2002) uma vez que a molécula esteja disponível na solução do solo ela pode ser rapidamente metabolizada, diminuindo os riscos ambientais provocados pela recalcitrância. O modo de ação dessas duas moléculas podem causar efeitos maléficis ou estimulantes aos organismos do solo.

Por exemplo, os fungicidas sistêmicos agem diretamente sobre as estruturas fúngicas associadas ao córtex radicular, podendo afetar o crescimento das hifas extrarradiculares dos FMA (CARRENHO et al., 2010).

Por outro lado, fungicidas de contato agem micélio extrarradicular e os esporos, tendo pouca influência na colonização interna. No entanto, se aplicação do produto ocorrer antes que os processos de infecção e de colonização tenham se efetivado, a ação do fungicida pode ser deletéria. Alguns fungicidas aparentemente estimulam a micorrização, enquanto outros são bastante prejudiciais (SMITH e READ, 1997).

O impacto dos fungicidas nas associações de FMA depende de múltiplas condições, como a formulação química dos agrotóxicos, modo de ação e a forma como são aplicados

(DIEDHIOU et al., 2004; ZOCCO et al., 2008; CALONNE et al., 2012). Alguns pesquisadores relatam que os fungicidas podem afetar a simbiose micorrizica com a planta hospedeira de maneira negativa, não afetam ou interferem de maneira positiva (SAMARBHAKHSH et al., 2009). Os efeitos dos fungicidas são variados também para os outros grupos de organismos do solo.

Nos organismos da fauna do solo, Fountain et al. (2007), descrevem que em parcelas instaladas no campo e submetidas a aplicações de Cloropirifós, este sendo inseticida de contato, a diversidade, a riqueza e a uniformidade de espécies da fauna foram reduzidas. Apesar disso, a abundância de Collembola aumentou dez vezes, sendo a espécie *Ceratophysella denticulata* dominante nas parcelas tratadas com inseticida.

Em termos de efeitos sub-letais com Clorotalonil, os collembolas foram mais sensíveis seguidos que minhocas e com menor sensibilidade os enquitreideos (LEITÃO et al., 2014).

As diferenças que são encontradas principalmente em ensaios de letalidade, podem ser atribuídas aos fatores associados ao solo, como pH e teor de argila que influenciam a disponibilidade dos agrotóxicos (EFSA, 2009).

2.5 USOS DO SOLO

Objetivando garantir um sistema de uso de solo de qualidade para as culturas agrícolas, que garanta a produtividade reduzindo o risco de perda de solo e também de nutrientes por escoamento superficial, o plantio direto surge como uma alternativa ao sistema de plantio convencional até dois anos atrás este sistema de plantio ocupava cerca 32 de milhões de hectares no Brasil (MOTTER e ALMEIDA, 2015).

O sistema de plantio direto para hortaliças é um sistema de uso de solo que segue algumas premissas básicas, como (i) manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo; (ii) revolvimento restrito às linhas de plantio; (iii) manejo das plantas espontâneas em consórcio com as hortaliças; (iv) rotação de culturas; (v) cobertura do solo; e por consequência (vi) manejo adequado da matéria orgânica.

Desta maneira, para produção de cebola, no sistema de plantio direto as mudas são produzidas em canteiros e transplantadas em sulcos (EPAGRI, 2013). Segundo Kieling et al. (2009) o sistema deve utilizar plantas de cobertura, solteiras ou consorciadas, cujos resíduos são depositados na superfície do solo, sendo a mobilização do solo restrita à linha de plantio.

No caso particular da cebola, devido ao número reduzido de folhas e porte baixo, possui um menor índice de área foliar e o uso de espécies de plantas de cobertura é fundamental para que o sistema de plantio direto seja iniciado com um alto aporte de resíduos, garantindo a cobertura do solo e viabilizando, inclusive, o aumento da produção de bulbos (CAMARGO, 2011).

O preparo do solo sob o sistema convencional, embasado na alta utilização de agrotóxicos, adubos solúveis e intensa mobilização dos solos, utilizado há muitos anos por pequenos, médios e grandes produtores, vem gerando desgaste e impactos negativos no solo, traduzidos por compactação, perda de água e da camada superficial do solo, redução dos teores de matéria orgânica entre outros (SOUZA, 2009).

O cultivo da cebola sob sistema de preparo convencional do solo caracteriza-se pelo excessivo revolvimento do solo, sendo na ocasião do plantio realizada aração e, posteriormente, destorroamento com enxada rotativa, o que ocasiona a pulverização do solo e, conseqüentemente, sua degradação física, química e biológica (LOSS et al., 2015).

Segundo Panachuki et al. (2011) os solos cultivados com cebola em Santa Catarina (SC) sob o sistema convencional, como aqueles encontrados no Alto Vale do Itajaí, encontram-se intensamente degradados, devido ao uso intensivo de arações e gradagens, que potencializa as perdas de solo, água e nutrientes por erosão.

O plantio convencional de cebolas traz algumas desvantagens tanto para o produtor, quanto para o solo, tais como: maior consumo de energia, aumento do custo de produção, desequilíbrio da biologia do solo, formação de uma camada compactada, maior perda de água, maior exposição às intempéries, aumento do risco de erosão e elevação da temperatura do solo. Por outro lado, este sistema faz um bom controle de plantas espontâneas e reduz a contaminação por pragas e doenças (KROGER et al., 2003).

Nas principais regiões produtoras de cebola do Sul do país, a cebola é cultivada predominantemente no sistema convencional, com a utilização freqüente, e muitas vezes excessiva, de pulverizações com fungicidas para o controle da doença (WORDELL FILHO e STADNIK, 2006).

2.6 USO DE ENSAIOS DE SEMI-CAMPO COM TERRESTRIAL MODEL ECOSYSTEMS (TMES)

Ensaio de semi-campo utilizando mesocosmos do tipo Terrestrial Model Ecosystems (TME) foram desenvolvidos para interligar dados de campo e laboratório estudando colunas de solo sob condições controladas de laboratório, permitindo avaliar os efeitos em níveis estruturais e funcionais (MORGAN e KNACKER, 1994). Podem ser definidos como sistemas controlados e reprodutíveis que buscam simular processos e interações dos componentes podendo fornecer informações mais completas e realísticas, pois utilizam amostras de um ecossistema natural, permitindo, portanto, que os serviços prestados por diferentes níveis da cadeia trófica sejam considerados durante a avaliação experimental (KNACKER et al., 2004; ANDRÉA, 2010).

Os TMEs são uma ferramenta alternativa e oferecerem a possibilidade de estudar as relações entre o uso do solo, variáveis ambientais, analisar o comportamento de poluentes, metais pesados e nutrientes ao longo do perfil do solo, estudar comunidades microbianas do solo sejam estas nativas ou introduzidas em condições de semi-campo de forma controlada e reprodutível, de maneira isolada ou em conjunto. Além de serem usados para estudar processos no solo, mantendo seletivamente parte da heterogeneidade espacial, temporal e genética natural (Edwards e Bohlen, 1996), permitem controlar as variáveis selecionadas ou desejadas nos estudos bem como observam e até mesmo quantificar as entradas e as saídas do sistema.

Essa metodologia pode ser amplamente utilizada para avaliações ecológicas ainda que sua complexidade faça com que não sejam apropriadas para rotinas laboratoriais. De acordo com Carbonell e Tarazona (2014), os TMEs (microcosmos) representam um passo de teste intermediário entre testes de toxicidade de uma única espécie e estudos de campo, para avaliar o meio terrestre, podem ser utilizadas abordagens baseadas em conjuntos naturais com núcleos de solo intactos e conjuntos artificiais com solo reconstruído.

Por outro lado, Knacker et al. (2004) afirmam que a extração de amostras de solo, armazenamento e manutenção dos mesocosmos em laboratório, são técnicas simples e de baixo custo, facilmente replicáveis e permitem a avaliação estatística dos dados. Desta maneira, desenvolver metodologias ou adaptações que permitam esse tipo de avaliação tem fundamental importância para o entendimento do comportamento das comunidades ou organismos quando expostos a diferentes condições ambientais.

Indicados para a avaliação de diferentes estressores ambientais principalmente em áreas agrícolas, do efeito de agroquímicos, como os pesticidas, das alterações ambientais, como a flutuação da umidade do solo (Bandow et al., 2016), os TMEs tornam-se uma importante ferramenta de estudo para avaliações de risco (SOUSA et al., 2004).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W.; FIÚZA, J.; MAGALHÃES, C. M.; JUNGER, C. M. **Agrotóxicos Cad. Saúde Pública** v.1 no.2 Rio de Janeiro Abr./Jun 1985.

ANDERSON, J. M. **Invertebrate-mediated transport process in soils**. Agriculture Ecosystems and Environment, Amsterdam, v. 25, p. 5-14, 1988.

ANDRÉA, M. M. **O uso de minhocas como bioindicadores de contaminação de solos**. Acta Zoologica Mexicana, sl., n. 2, p. 95-107, 2010.

ANUÁRIO BRASILEIRO DAS HORTALIÇAS 2016. **Hortaliças 2016**. Cleonice de Carvalho et al., – Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta Santa Cruz, 64 p. : il. 2016.

AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, M. V. **Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil**. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.). Biodiversidade do solo em ecossistemas tropicais. Lavras: Editora da UFLA, p. 143-170.2008.

AQUINO, A. M. Fauna do solo e sua inserção na regulação funcional do agroecossistema. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). **Processos biológicos nossistemas solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006.p. 47-75.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL (ANDEF). **Fertilizantes especiais à base de algas aumentam potencial produtivo de frutas e hortaliças**. Infotrade. Ano 3, Nº16, julho – agosto de 2015, BRASIL

BAILEY, A.M.; COFFEY, M.D. **Characterization of microorganisms involved in accelerated biodegradation of metalaxyl and metolachlor in soils**. Canadian Journal of Microbiology, v. 32, p. 562-569, 1986.

BANDOW, C.; NG, E. L.; SCHMELZ, R. M.; SOUSA, J. P.; RÖMBKE, J. A TME study with the fungicide pyrimethanil combined with different moisture regimes: effects on enchytraeids. **Ecotoxicology**, Paris, v. 25, p. 213–224, 2016.

BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I., ALVES, M. V. **Fauna edáfica e qualidade do solo**. in: KLAUBERG FILHO, O., MAFRA, A. L., GATIBONI, L. C. (Eds), Tópicos especiais em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2011, pp. 141-192.

BARETTA, D.; MAFRA, A. L.; SANTOS, J. C. P.; AMARANTE, C. V. A.; BERTOL, I. **Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo**. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.41, n.11, p.1675-1679, nov. 2006.

BARETTA, D.; SANTOS, J. P. C.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRAFILHO, L. C. L.; ALVES, M. V. **Fauna edáfica e qualidade do solo**. In: KLAUBERGFILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. *Tópicos em Ciências do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 141-192, 2011.

BIGNELL, D.; CONSTANTINO, R.; CSUDI, C.; KARYANTO, A.; KONATÉ, S.; LOUZADA, J. N. C.; SUSILO, F. X.; TONDOH, J. E.; ZANETTI, R. **Macrofauna**. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Eds.). *Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade*. Lavras: Editora da UFLA, p. 121-137.2010.

BOEING G. 2002. **Fatores que afetam a qualidade da cebola na agricultura familiar catarinense**. Florianópolis: Instituto Cepa/SC. 88 p.

BOFF, P.; DEBARBA, J.F.; SILVA, E.; WERNER, H. **Qualidade e sanidade de mudas de cebola em função da adição de composto termófilo**. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.4, p.875-880, out-dez 2005.

BONFANTE, P., et al. **Disclosing arbuscular mycorrhizal fungal biodiversity in soil through a land-use gradient using a pyrosequencing approach**. *Environmental Microbiology*, 12:2165-2179, 2010.

BONFANTE, P.; GENRE, A. Plants and arbuscular mycorrhizal fungi: an evolutionary-developmental perspective. **Trends in Plant Science**, v.13, n.9, p.492-498, 2008.

BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.html > Acesso em: 10/05/2017.

BROWN, G. G.; MASCHIO, W.; FROUFE, L. C. M. **Macrofauna do solo em sistemas agroflorestais e Mata Atlântica em regeneração nos municípios de Barra do Turvo, SP, e Adrianópolis, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 51 p.

BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. Canberra, Australia: ACIAR Monograph, 1996.

CALONNE M., LOUNÈS-HADJ SAHRAOUI A., CAMPAGNAC E., DEBIANE D., LARUELLE F., GRANDMOUGIN-FERJANI A., FONTAINE J. 2012. **Propiconazole inhibits the sterol 14 α -demethylase in *Glomus irregulare* like in phytopathogenic fungi.** *Chemosphere* 87 (4): 376–383.

CAMARGO, E.S. **Manejo conservacionista do solo e rotação de culturas para cebola.** 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC.

CARBONELL, G.; TARAZONA, J. V. Terrestrial Microcosms and Multispecies Soil Systems. **Encyclopedia of Toxicology**, Madrid, p. 1-4, 2014.

CARENHO, R., *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil.** Lavras: Editora UFLA, 1 ed. p. 153-214, 2010.

CASTRO, I. B.; WESTPHAL, E.; FILLMANN, G. Tintas anti-incrustantes de terceira geração: novos biocidas no ambiente aquático, **Química Nova**, São Paulo, v. 34, p. 1021-1031, 2011.

CHAVES, A.; SHEA, D.; COPE, W. G. Environmental fate of chlorothalonil in a Costa Rican banana plantation. **Chemosphere**, Oxford, v. 69, n. 7, p. 1166-1174, 2007

CORREIA, M. E. F. **Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna de solo e de grupos chave de invertebrados como bioindicadores do manejo de ecossistemas.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2002, 23 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 157).

COSTA, C.N.; MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. **Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente.** In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 2 ed. Porto Alegre, 2004.

CUENCA, G. (ed.). **Las micorrizas arbusculares: aspectos teóricos y aplicados.** Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, 2015. 432 p.

DAVISON, J.; MOORA, M.; ÖPIK, M.; ADHOLEYA, A.; AINSAAR, L.; BÂ, A.; BURLA, S.; DIEDHIU, A.G.; HIIESALU, I.; JAIRUS, T.; JOHNSON, N.C.; KANE, A.; KOOREM, K.; KOCHAR, M.; NDIAYE, C.; PÄRTEL, M.; REIER, Ü.; SAKS, Ü.; SINGH, R.; VASAR, M.; ZOBEL, M. **Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism.** *Science*, v.349, p. 970-973, 2015.

DE SOUZA, F. A.; SILVA, I. C. L. da; BERBARA, R. L. L. **Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imaginava.** In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras: Editora UFLA, 2008. p. 483-536. Parceria: UFRJ; UFRRJ.

DIEDHIU P.M., OERKE E.C., DEHNE H.W. 2004. **Effect of the strobilurin fungicides azoxystrobin and kresoximmethyl on arbuscular mycorrhizal.** J. Plant Dis. Prot. 111 (6): 545–556.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison, SSSA, 1993. p.1-20. (Special, 35).

EDWARDS, A. C.; BOHLEN. **Biology and Ecology of Earthworms**, v. 3, p. 426, 1996.

EFSA, 2009. **Comparison between the sensitivity of Enchytraeids and Lumbricidae to chemicals, in particular plant protection products.** Final Report CFT/EFSA/PPR/2008/01.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Sistema de produção para cebola: Santa Catarina** (4ª revisão). Florianópolis: 2013.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca. **Santa Catarina tem safra recorde de cebola, 2017.** Disponível em: < <http://www.epagri.sc.gov.br/?p=22249> > Acesso em: 19/07/2017.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Sistemas de produção para cebola.** Florianópolis: Epagri. 91 p, 2000.

FOUNTAIN, M. T. et al., The effects of the insecticide chlorpyrifos on spider and Collembola communities. **Pedobiologia**, v.51, p. 147-158, 2007.

FITTER, A.H.; HELGASON, T.; HODGE, A. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: Implications for sustainable agriculture. **Fungal Biology Reviews**, v. 25, p. 68–72, 2011.

GAVA, C. A. T.; TAVARES, S. C. C. H. **Cultivo da cebola no Nordeste Embrapa Semi-Árido**. Sistemas de Produção, 3 ISSN 1807-0027. Versão Eletrônica Nov/2007. Disponível em: < http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spcebola/doencas.htm > Acesso em 17/07/2017.

GELMINI, G.A. **Agrotóxicos: legislação básica**. Campinas: Fundação Cargill, 1991.

FRAMPTON, G.K.; NSCH, S. J; SCOTT-FORDSMAND, J. J.; MBKE, J.R.; VAN DEN BRINK, P.J. **Effects of pesticides on soil invertebrates in laboratory studies: a review and analysis using species sensitivity distributions**. Environmental Toxicology and Chemistry, v. 25, No. 9, pp. 2480–2489, 2006.

GIOVANNETTI, M.; AVIO, L.; SBRANA, C. Fungal Spore Germination and Pre-symbiotic Mycelial Growth – Physiological and Genetic Aspects. In: Koltai, H.; Kapulnik, Y. (eds.). **Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function**. New York: Springer. 2010. 323 p.

HEISLER, C.; KAISER, E. A. **Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil**. Biology and Fertility of Soils, Berlin, v. 19, n. 2/3, p. 159-165, 1995.

IBAMA. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**, Relatório 2014. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos> > Acesso em: 10/05/2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Tabela 188. Rendimento médio, por ano da safra e produto (notas). 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188> > Acesso: 10/06/2017.

JARDIM, I.C.S.F. et al. **Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global – um enfoque às maçãs**. Química Nova, v. 32, No.4, p. 996-1012, 2009.

JIMÉNEZ, J.J.; MORENO, A.G.; DECAENS, T.; LAVELLE, P.; FISHER, M.J. & THOMAS. R.J. **Earthworm communities in native savannas and man-made pastures of the eastern plains of Colombia**. Biol. Fert. Soils, 28:101-110, 2006.

JOUQUET, P.; DAUBER, J.; LAGERLÖF, J.; LAVELLE, P. & LEPAGE, M. **Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops**. Appl. Soil. Ecol., 32:153-164, 2006.

KATAYAMA, A.; ITOU, T. & UKAI, T. **Ubiquitous capability to substitute chlorine atoms of chorothalonil in bacteria.** J. Pest. Sci., 22:12-16, 1997.

KIELING, A.S. et al. **Plantas de cobertura de inverno em sistema plantio direto de hortaliças sem herbicidas: efeitos sobre plantas espontâneas e na produção de tomate.** Ciência Rural, v.39, n.7, p.2207-2209, 2009.

KNACKER T., et al. **Ring-testing and field validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) - an instrument for testing potentially harmful substances: conceptual approach and studies design.** Ecotoxicology, 13:5-23, 2004.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W. de; BRAGA, R. F. **Macrofauna.** In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Editora da UFLA, p. 79-128.2013.

KROEGER, A. ; SHIMITT, D R.; SANTOS, I.A. D. **Curso profissionalizante de cebola.** Florianópolis: Epagri, 2003. 59 p. (Profissionalização de Produtores rurais).

KURTZ, C. **Rendimento de cebola influenciado pela adição de micronutrientes e de nitrogênio.** UDESC – CAV, Lages, SC. 2008. 59 p. (Dissertação de mestrado)

LAMBAIS, M.R.; RAMOS, A. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. (eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil.** Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

LATEF, A.A.H.A.; HASHEM, A.; RASOOL, S.; ABD_ALLAH, E.F.; ALQARAWI, A.A.; EGAMBERDIEVA, D.; JAN, S.; ANJUM, N.A.; AHMAD, P. Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis and Abiotic Stress in Plants: A Review. **Journal of Plant Biology**, v.59, p. 407-426, 2016.

LAVELLE, P. **Diversity of soil fauna and ecosystem function.** Biology International, Paris, v.33, p.3-16, 1996.

LEHMANN, A.; RILLIG, M.C. **Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops - a meta-analysis.** Soil Biology & Biochemistry, 81:147-158, 2015.

LEITÃO, S.; CEREJEIRA, M.J.; VAN DEN BRINK, P. J.; SOUSA, J.P.. **Effects of azoxystrobin, chlorothalonil, and ethoprophos on the reproduction of three terrestrial invertebrates using a natural Mediterranean soil.** *Applied Soil Ecology*, 76:124-131, 2014.

LEITE, D.L. **Produção de Sementes de Cebola.** Circular técnica 142, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Dezembro, 2014.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S. et al. **Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola.** *R. Bras. Ci. Solo*, 39:1212-1224, 2015.

MAIA, L.C.; SILVA, F.S.B.; GOTO, B.T. Estrutura, ultraestrutura e germinação de glomerosporos. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. (eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil.** Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

MARDHIAH, U.; CARUSO, T.; GURNELL, A.; RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment. ***Applied Soil Ecology***, v. 99, p. 137–140, 2016.

MARSCHNER, H.; DELL, B. **Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis.** 1994

MONTONAGA, K.; TAKAGI, K. & MATUMOTO, S. **Suppression of chlorothalonil degradation in soil after repeated application.** *Environ. Tox. Chem.*, 17:1469-1472, 1998.

MOORE, J. C.; WALTER, D. E. **Arthropod regulation of micro-and mesobiota in below-ground detrital food webs.** *Annual Review of Entomology*, Palo Alto, v. 33, p. 419-439, 1988.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MORGAN, E. AND KNACKER, T. (1994). **The role of laboratory terrestrial model ecosystems in the testing of potentially harmful substances.** *Ecotoxicology* 3, 213–33.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H.G. **Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira.** Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015. 143p.

ODUM, E. P. 1988. **Ecologia.** Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan S.A. 434 p.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Guanabara, 1983. 434p.

ÖPIK, M.; DAVISON, J. Uniting species and community oriented approaches to understand arbuscular mycorrhizal fungal diversity. **Fungal Ecology**, v. 24, p. 1-8, 2016. p. 47-75.

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 2014.
Olericultura - Análise da Conjuntura Agropecuária. Dezembro 2016.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.35, p.1777-1785, 2011.
Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500032>>. Acesso em: 15/06/2017.

PANKHURST, C.E.; LYNCH, J.M. **The role of the soil biota in sustainable agriculture**. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R., eds. Soil 45 Biota: management in sustainable farming systems. Melbourne: CSIRO, 1994. p.3-12.

PAPINI, S.; ANDRÉA, M.M. **Enhanced degradation of metalaxyl in agricultural soils of São Paulo State, Brazil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 1, p. 1-5, 2001.

PEREIRA, R. B.; OLIVEIRA, V. R.; PINHEIRO, J.B. **Diagnose e manejo de doenças fúngicas na cultura da cebola**. Circular Técnica, 133, Brasília, DF Outubro, 2014.

PERES, F., MOREIRA, JC. and DUBOIS, GS. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. In: PERES, F., and MOREIRA, JC., orgs. **É veneno ou é remédio? Agrotóxicos, saúde e ambiente [online]**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. p. 21-41. ISBN 85-7541-031-8.

POZO, M.J.; AZCÓN-AGUILAR, C. **Unraveling mycorrhizainduced resistance**. **Current Opinion in Plant Biology** 10: 393-398, 2007.

QUEREJETA, J.I.; EGERTON-WARBURTON, L.M.; ALLEN, M.F. **Hydraulic lift may buffer rhizosphere hyphae against the negative effects of severe soil drying in a California Oak savanna**. **Soil Biology & Biochemistry**, 39:409-417, 2007.

REDECKER, D., et al. **An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota)**. **Mycorrhiza**, 23:515-531, 2013.

REGITANO, J.B.; TORNISIELO, V.L.; LAVORENTI, A. & PACOVSKY, R.S. **Transformation pathways of ¹⁴Cchlorothalonil in tropical soils.** Arch. Environ. Contam. Toxicol. 40:295-302, 2001.

REIS, E.R; ANDREA CAMARGO REIS BRESOLIN, A. C. R. **Fungicidas: aspectos gerais.** Revista Plantio Direto, edição 97, janeiro/fevereiro de 2007. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo, RS. Disponível em http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=777 Acesso: 7/05/2017

REIS, E. M.; REIS, A. C.; FORCELINI, C. A. **Manual de Fungicidas: Guia para o controle químico de doenças de plantas.** 5. ed. Passo Fundo: Editora Universitária UPF, 2007. 153 p.

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

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A.; SCHMIDT, 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.

SMITH, S. E. e READ, D. J. **Mycorrhizal Symbiosis.** London: Academic Press, 1997. 6005p.

SAMARBHAKHSH, S., REJALI, F., ARDAKANI, M.R., PAK, N.F., MOHAMADD, M. **Combined effects of fungicides and Arbuscular Mycorrhiza on Corn (*Zea mays* L.) growth and yield under field conditions.** J of Biol Sci. 9(4): 372-376. Schenck, N.C.; Perez, Y. 1990. Manual, 2009.

SATO, K. & TANAKA, H. **Degradation and metabolism of a fungicide, 2,4,5,6-tetracloroisoflato-nitrilo (TPN) in soil.** Biol. Fertil. Soils, 3:205-209, 1987.

SCHÜBLER, A. **A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution.** Mycology Resource, 105:1413– 1421, 2001.

SCORZA JUNIOR, R. P.; NÉVOLA, F. A. ; AYELO, V. S.; **Avaliação da contaminação hídrica por agrotóxico.** Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2010.

SINDVEG - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA VEGETAL. **Importações de Defensivos Agrícolas têm aumento no primeiro semestre de 2016**. 2016. Disponível em: < <http://sindiveg.org.br/importacoes-de-defensivos-agricolas-tem-aumento-no-primeiro-semester-de-2016/> Acesso em: 13/05/2017.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 3 ed. New York: Academic Press, 2008.
SMITH, S.E.; SMITH, F.A.; Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Nutrition and Growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. **Annual Review of Plant Biology**, v.62, p. 227–250, 2011.

SOUZA, A.J. Impacto da diversidade microbiana sob a degradação clorotalonil no solo manejado com biochar. Dissertação (mestrado). **Universidade de São Paulo, Piracicaba**, 2016.

SOUZA, F.A.; SILVA, I. C.L.; R. L.L. **Fungos micorrízicos arbusculares: muito mais diversos do que se imaginava**. A Biodiversidade, capítulo 15, pg 502-555, 2007.

SOUSA, J. P.; RODRIGUES, J. M. L.; LOUREIRO, S.; SOARES, A. M. V. M.; JONES, E. S.; FÖRSTER, B.; VAN GESTEL, C. A. M. Ring-Testing and Field-validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) – An Instrument for Testing Potentially Harmful Substances: Effects of Carbendazim on Soil Microbial Parameters. **Ecotoxicology**, Paris, v. 13, p. 43-60, 2004.

SOUZA, M. Caracterização do sistema de plantio direto de hortaliças e produção de mudas de cebola no alto vale do Itajaí. Relatório de estágio final, **Florianópolis, SC**. 2009.

SOUZA, M. H.; VIEIRA, B. C. R.; OLIVEIRA, A. P.G, AMARAL, A. A. **Macrofauna do solo**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; p. 2015.

SPESSOTO, A. M. Dissipação do fungicida metalaxil em solos brasileiros e caracterização genética por RAPD de isolados envolvidos no processo. 2002. 93p. Tese (Doutorado) - **Universidade Federal de São Carlos, São Carlos**. 2002.

SPESSOTO, A. M.; MELO, I. S.; FERRACINI, V. L. **Dissipação do fungicida metalaxil em solos brasileiros**. Revista Brasileira de Fitopatologia, v. 25, n. 4, p. 596-601, 2000.

SUN, T.; HASHIMOTO, T.; WADA, H. & TAKAI, Y. **Effects of organic amendments on soil microbial ecosystem modified by long-term application of pesticides.** Nippon Dojohiryogaku Zasshi, 56:31-36, 1985.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems.** Oxford, Blackwell, 1979. 372p.

TAKAGI, K.; WADA, H. & YAMAZAKI, S. **Effect of a long term application of a fungicide, chlorothalonil (TPN) on upland ecosystem.** Soil Sci. Plant Nutr., 37:583-590, 1991.

VAN DER PAS, L.J.T.; MATSER, A.M.; BOESTEN, J.J.T.I. & LEISTRA, M. **Behavior of metamitron and hydroxychlorothalonil in low-humic sandy soils.** Pestic. Sci., 55:923-934, 1999.

VAN SCOY, A. R.; TJEERDEMA, R. S. Environmental Fate and Toxicology of Chlorothalonil. In: WHITACRE, D.M. (Ed.). **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.** New York: Springer, v.232, 2014. p.89-105.

VAZ DE MELO, F; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; J. N. C., LOUZADA; LUIZÃO, F. J.; WELLINGTON DE MORAIS, J.; ZANETTI, R. **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores.** Boletim Informativo da SBCS, janeiro – abril, 2009.

VISSER, S. Role of the soil invertebrates in determining the composition of soil microbial communities. In: FITTER, R. (Ed). **Ecological interactions in soil: Plants, microbes and animals.** Stockholm: British Ecological Society, 1985. p.287-317.

WALKER, W.W.; CRIPE, C.R.; PRITCHARD, P.H. & BOURQUIN, A.W. **Biological and abiotic degradation of xenobiotic compounds *in vitro* estuarine water and sediment/water systems.** Chemosphere, 17:2255-2270, 1988.

WANG, H.; PENG, G.; QI, M. **Study on degradation and residues of ¹⁴C-metalaxyl in soil.** Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis, v. 21, n. 4, p. 395-401, 1995.

WORDELL FILHO, J. A.; STADNIK, M. J. 2006. **Controle da mancha acinzentada da cebola e seu impacto sobre a qualidade de mudas.** Horticultura Brasileira 24: 437-441, 2006.

WURST, S., DE DEYN, G. B., & ORWIN, K. (2012). Soil Biodiversity and Functions. In D. H. Wall, R. D. Bardgett, V. Behan-Pelletier, J. E. Herrick, T. H. Jones, K. Ritz, J. Six, D. R. Strong, W. H. van der Putten (Eds.), **Soil Ecology and Ecosystem Services**. (pp. 28-44). Oxford: Oxford University Press.

ZOCCO D., FONTAINE J., LOZANOVA E., RENARD L., BIVORT C., DURAND R., GRANDMOUGIN-FERJANI A., DECLERCK S. 2008. **Influence of two sterol biosynthesis inhibitor fungicides (fenpropimorph and fenhexamid) on the development of an arbuscular mycorrhizal fungus**. Mycol. Res. 112 (5): 592–601.

3 CAPÍTULO I

APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS E ATIVIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NA CULTURA DA CEBOLA (*Allium cepa* L.)

RESUMO

A cultura da cebola é submetida à inúmeras aplicações de agrotóxicos, principalmente fungicidas, dentro do mesmo ciclo de cultivo devido ao grande número de doenças fúngicas que podem comprometer o rendimento da mesma. Entretanto, pouco se sabe sobre o efeito destes fungicidas sobre as micorrizas arbusculares. Este estudo se propôs a avaliar o efeito do fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil no estabelecimento e resposta micorrízica da cebola à inoculação com FMA em solo de plantio direto (PD) e convencional (PC), devida a falta de estudos com essas moléculas principalmente de forma associada. Para isso, foi conduzido um experimento em condições de semi-campo utilizando mesocosmos do tipo “Terrestrial model Ecosystems” (TMEs) oriundos de áreas de Cambissolo Húmico sob dois manejos da cultura da cebola. Os tratamentos foram arrançados em um fatorial 3 x 2, sendo três tratamentos de fungicida (sem adição, clorotalonil e clorotalonil + metalaxil-m) e dois de inoculação (inoculado e não inoculado). O experimento foi conduzido em condições controladas, em delineamento completamente casualizado com seis repetições, totalizando 36 TME para PD e 36 para PC. As aplicações de fungicida foram realizadas semanalmente com meia dose do produto como recomendado e realizado a campo pelos produtores para a cultura da cebola. Para inoculação foi adicionado 170 g de uma mistura de *Rhizophagus clarus*, *Claroideoglossum etunicatus*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora morrowiae* e *Acaulospora koskei* na camada de 0-10 cm dos mesocosmos, com aproximadamente 1190 esporos. Em seguida foram transplantadas duas mudas de cebola da cultivar “Menina”. Ao fim de 110 dias avaliou-se colonização radicular, produção de hifas e esporulação no solo. Nas cebolas foram determinadas a produção de massa seca da parte aérea, bulbilhos e massa fresca de raiz e também os teores de P na parte aérea e bulbilhos. As aplicações dos fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil não influenciaram o estabelecimento da simbiose micorrízica (colonização, produção de hifas e esporulação) e também não interferiram nos benefícios da inoculação de populações selecionadas e nativas de FMA na cultura da cebola em solo de plantio direto e convencional. A inoculação com a mistura de espécies de FMA selecionadas aumentou a colonização radicular e incremento de biomassa da parte aérea das cebolas, independente da aplicação dos fungicidas quando comparada aos tratamentos não inoculados, tanto no plantio direto como no convencional.

Palavras chave: Fungicidas. Fungos micorrízicos arbusculares. *Allium cepa* L.

APPLICATION OF FUNGICIDES AND ACTIVITY OF ARBUSCULAR MICORRIZING FUNGI IN THE ONION CULTURE (*Allium cepa* L.)

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (FMA) form a mycorrhizal association with onion promoting their growth and nutrition. Onion crop is subjected to numerous applications of pesticides, mainly fungicides, within the same crop cycle due to the large number of fungal diseases that can compromise the yield of this crop. However, little is known about the effect of these fungicides on arbuscular mycorrhizae. This study aimed to evaluate the effect of the fungicide chlorothalonil and its association with metalaxyl in the establishment and mycorrhizal response of onion to FMA inoculation in no-tillage and conventional tillage soils. For this, an experiment was conducted in a semi-field experiment with mesocosms of the Terrestrial model Ecosystems (TMEs) from areas of Cambisol Humic with no-tillage (DP) and onions on conventional tillage (PC) treatment. Treatments were arranged in a factorial 3x2, with three treatments of fungicide (no addition, chlorothalonil and chlorothalonil + metalaxyl-m) and two inoculation (inoculated and not inoculated). Experiment was conducted under controlled conditions, in a completely randomized design with six replicates, totaling 36 TMEs for PD and 36 for PC. Fungicide applications were made weekly with half a dose of the product as recommended for onion crop. For inoculation were added 170 g of a mixture of *Rhizophagus clarus*, *Claroideoglossum etunicatus*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora morrowiae* and *Acaulospora koskei* in the 0-10 cm layer of the mesocosms. Two onion seedlings of the cultivar "Menina" were then transplanted. After 110 days, root colonization, hyphae production and soil sporulation were evaluated. Biomass production of the aerial part, bulbiles and root were determined and also the contents of P in the plant and in the bulbiles. Applications of chlorothalonil fungicides and their mixture with matalaxil did not influence the establishment of mycorrhizal symbiosis (colonization, hyphae production and sporulation) and also did not interfere in inoculation benefits of selected and native FMA populations in onion crop in no-tillage and conventional tillage soils. Inoculation with the mixture of selected FMA species promoted a higher root colonization and biomass growth of onions, regardless the application of the fungicides when compared to treatments not inoculated in PD. Differences were found in PC when inoculated with selected populations of FMA and without inoculation independently of fungicide use.

Keywords: Fungicides. Arbuscular mycorrhizal fungi. *Allium cepa* L.

3.1 INTRODUÇÃO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são organismos biotróficos obrigatórios que estabelecem associação mutualística com a maioria das plantas de interesse agrícola (SMITH e READ, 2008).

As associações com FMA promovem benefícios para o crescimento e nutrição de olerícolas como tomate, pimenta, cebola, alho e várias outras atuando como agentes biofertilizantes, bioestimulantes e bioprotetores (VAHALA, 2003; HART e TREVORS, 2005; GIANINAZZI et al., 2010; ROUPHAEL et al., 2015).

A cebola (*Allium cepa* L.) apresenta alta resposta à micorrização, uma vez que as plantas pertencentes à família Aliaceae, como a cebola e o alho, apresentam sistema radicular menos desenvolvido que outras (GREENWOOD et al., 1982). CHARRON et al. (2001), GALVÁN, KUYPER e BURGER (2011) relatam que a inoculação da cebola é uma prática quase que obrigatória, pelo fato desta cultura suprir boa parte da sua demanda por P via simbiose e em função das características do seu sistema radicular.

Esta cultura responde muito bem a inoculação com FMA, onde esta prática possui maior viabilidade no plantio das sementes, ou seja, adição do inoculante nos canteiros. Uma vez que se este fosse utilizado no transplante das mudas a campo não possuímos produção de inoculantes micorrízicos em montante suficiente para atender a demanda do mercado.

A cultura da cebola, entretanto, está sujeita a grande quantidade de aplicações de agrotóxicos e em especial de fungicidas durante o mesmo ciclo de cultivo. Estes fungicidas quando aplicados atingem o solo, que abriga os FMA. Segundo Sieverding (1991) os fungicidas geralmente afetam o processo de infecção dos FMA, no entanto, diferentes efeitos podem ser observados dependendo das diferentes populações microbianas, tipos de solo, plantas hospedeiras e do princípio ativo. Jin et al. (2013) destacaram que as características dos relacionadas aos fungicidas como a concentração de fungicida, natureza química, persistência, modo de ação e translocação, podendo exercer efeito negativo sobre esta simbiose variando, conforme o modo de ação dos produtos e as espécies de FMA envolvidas.

Os efeitos dos fungicidas na colonização de FMA e na resposta micorrízica precisam de mais estudos, em especial na cultura da cebola. Os efeitos do uso do fungicida clorotalonil e suas associações com outros ingredientes ativos são desconhecidos (CHANNABASAVA, LAKSHMAN, JORQUERA, 2015).

Os fungicidas clorotalonil e metalaxil, além de serem recomendados pelo MAPA para frutíferas e olerícolas, apresentam modos de ação diferentes, sendo um de contato

(clorotalonil) e outro sistêmico (metalaxil). Na cultura da cebola estes dois princípios ativos são usados para controlar as duas doenças que podem causar danos produtivos a cultura, o míldio (*Peronospora destructor*) e mancha-púrpura (*Alternaria porri*). Estes modos de ação podem ter influência sobre as comunidades de FMA do solo e a formação da sua simbiose, uma vez que o destino final destas aplicações são as plantas e o solo.

Com isso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do fungicida Clorotalonil e sua associação com Metalaxil-M no estabelecimento e resposta micorrízica da cebola à inoculação com FMA em mesocosmos do tipo “terrestrial model ecosystems” com solo de plantio direto e convencional de cebola.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento em condições de semi-campo, em mesocosmos simulando ecossistemas terrestres (KNACKER et al., 2004), denominados de *terrestrial model ecosystems* (TME), foi realizado no Laboratório de Ecologia do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, município de Lages, com duração de 110 dias.

Foram testados os efeitos de três tratamentos de fungicidas (sem fungicida, clorotalonil e clorotalonil+metalaxil) no estabelecimento e reposta micorrízica da cebola não inoculada (população nativa) inoculada com fungos micorrízicos arbusculares em solos de plantio convencional e direto (Figura 1.1). O experimento seguiu arranjo fatorial de 3 x 2 com 6 repetições, em delineamento completamente casualizado, perfazendo 36 TMEs para cada sistema de cultivo da cebola e um total de 72 TMEs.

Local de coleta dos mesocosmos

A coleta dos mesocosmos (TME) foi realizada na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) em áreas de plantio convencional (PC) e direto (PD) de cebola, no município de Ituporanga, Santa Catarina. Nesta região o clima é classificado segundo Köppen como tipo Cfa, com clima subtropical úmido, com verão quente.

A área PD é de 396 m². Da década de 1970 até meados de 1996 a esta área era utilizada para plantio convencional de cebola. Apartir de então, a área vem sendo utilizada para plantio direto/cultivo mínimo de cebola, com preparo somente na linha de plantio. Neste

sistema são utilizadas como plantas de cobertura: *Mucuna aterrima* (mucuna) no verão e *Avena strigosa* (aveia) ou *Secale cereale* (centeio) + *Brassica sativus* (nabo forrageiro) no inverno. Esta área não recebe aplicações de fungicidas desde 2009, pois vem sendo manejada sobre o sistema orgânico.

A área PC, que totaliza 384 m² vem sendo cultivada desde a década de 1970 até meados de 1996 em PC com aração e duas gradagens, com uso eventual de enxada rotativa. De 1996 a 2007 essa área foi submetida ao plantio direto/cultivo mínimo com preparo somente na linha de plantio. A partir de 2007 a área passou novamente a ser cultivada no sistema de PC, com uso de aração mais duas gradagens. Após o plantio da cebola a área é cultivada com *Pennisetum glaucum* (milheto) no verão. Nos dois sistemas de produção a cultivar de cebola utilizada é a Epagri 352 - Bola Precoce. Nesta área, são realizadas de 6 a 8 aplicações anuais de fungicidas desde 2007, sendo utilizados clorotalonil em associação com metalaxil e mancozeb.

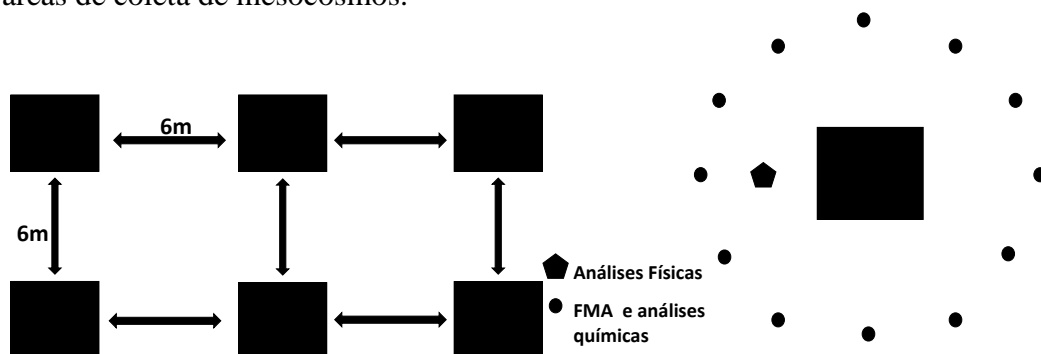
Cada unidade experimental (TME) possuía 17,5 cm de diâmetro e 40 cm de profundidade, a coleta destes foi realizada com o auxílio de uma retroescavadeira para introduzir a estrutura composta de amostrador mais tubo de polietileno no solo e removê-los. Os tubos de polietileno contendo os monólitos indeformados foram retirados do amostrador e levados para o laboratório de Ecologia do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC, Lages – SC.

Caraterização do solo

Nas áreas de coleta dos TMEs foram realizadas amostragens de solo para caracterização química, física e biológica preliminar dos solos conforme esquema apresentado na Figura 1.1.

Estabeleceu-se uma grade com 6 pontos amostrais espaçados por 6 metros. Ao redor dos pontos foram coletadas 12 subamostras que foram misturadas de forma a compor uma amostra composta representativa conforme sugerido Moreira et al. (2008). As coletas foram realizadas na profundidade de 0-10 cm com trado do tipo holandês.

Figura 1.1- Esquema de amostragem de solo para caracterização química, física e biológica das áreas de coleta de mesocosmos.



Fonte: produção do próprio autor, 2017.

As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de Ecologia do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages – SC. Para análises referentes a FMA as amostras foram mantidas em geladeira a 4°C. Para análises químicas foram peneiradas (2 mm) e secas a 60 °C e para análises físicas foram coletados um monólito de solo com auxílio de uma pá de corte no campo.

Estas amostras compostas foram também utilizadas para determinação das características químicas e físicas: pH-água, SMP, P, K, teor de argila, teores de carbono orgânico total (CO) e de matéria orgânica(MO), de Al, saturação alumínio, saturação bases, Ca, Mg, H+Al, CTC efetiva, CTC à pH 7, teores de Zn, Cu, Mn e Fe, conforme Tedesco et al. (1995). As determinações de carbono e nitrogênio total foram efetuadas utilizando um analisador de carbono (multi N/C 2100, Analytik Jena, Alemanha), o qual utiliza a absorção de radiação infravermelha não dispersiva (NDIR) pelo dióxido de carbono formado após combustão da amostra a 800°C em forno horizontal. Nas duas áreas o solo é classificado como Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2006).

A estabilidade de agregados do solo foi determinada pelo peneiramento úmido de acordo com a metodologia de Kemper e Chepil (1965), representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG).

As amostras compostas foram ainda utilizadas para determinação das seguintes características biológicas relacionadas à atividade de fungos micorrízicos no solo:

a. Determinação da esporulação - foram realizadas extrações de esporos a partir de 100 gramas de solo de cada ponto amostral, seguindo a técnica de peneiragem úmida (GERDEMANN e NICOLSON, 1968), seguida de gradiente de sacarose 20% e 60%

levados para centrífuga por 1 minutos a 2000 rpm. No microscópio estereoscópio os esporos com membrana inteira e sem contaminação foram contados.

b. Quantificação do comprimento de micélio extrarradicular total no solo (CMET) - foi realizada duas sub-amostras de solo, com aproximadamente 10 g cada, foram usadas para a extração do CMET conforme descrito por Melloni (1996). A extração do micélio foi realizada suspendendo-se as amostras de solo em 0,5 L de água e passando-se o sobrenadante em peneiras sobrepostas, com malhas de 1 e 0,25 mm. Esta operação foi realizada por três vezes e o filtrado será submetido à agitação em liquidificador durante 30 segundos na menor velocidade. Após um período de repouso de 2 minutos, depois retirados 500 mL de sobrenadante foi passado por uma peneira de 0,053 mm. E o material retido na peneira filtrado a vácuo em membrana quadriculada de triacetato de celulose, com diâmetro de 4,7 cm e porosidade de 0,47 μ m. Em seguida, a membrana foi colocada sob lâmina de vidro de 5 x 5 cm, lubrificada com uma gota de óleo de amêndoas para facilitar a visualização no microscópio óptico. Foram avaliados 64 campos em cada membrana, determinando-se o número de intersecções de hifas com as linhas horizontais de uma grade (8 x 8 quadrículos de 1 mm) na ocular do microscópio no aumento de 162,5 vezes. Em uma das oculares foi acoplada uma lente com grade de 20 x 20 quadrículos. Foi determinado o número de intersecções das hifas com a linhas horizontais da grade da ocular. O comprimento do micélio extrarradicular total, expresso em centímetros de hifa por grama de solo seco, foi obtido pela seguinte relação:

$$C = [(0,0347 \cdot N) / (10 - U)] \cdot 100, \text{ onde:}$$

C = comprimento de micélio extrarradicular total, em centímetros de hifa por grama de solo seco;

N = soma do número de intersecções entre as hifas e linhas horizontais do gride;

U = umidade da amostra de solo, expressa em gramas de água.

As características químicas, físicas e biológicas dos solos de plantio direto e convencional são apresentadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1- Valores médios das características químicas, físicas e biológicas do solo nas áreas de plantio direto e plantio convencional de cebola em Ituporanga, SC. (n = 6)

Características	Plantio Direto	Plantio Convencional
pH em água	5,42	5,95
SMP	5,53	6,00
P (mg dm ³⁻¹)	27,64	19,42
K (mg dm ³⁻¹)	214	146
M.O. %	2,18	2,15
C.O. %	1,31	1,25
Argila %	26,83	28,17
Al (cmolc dm ³⁻¹)	0,08	0
Saturação por alumínio (%)	0,86	0
Saturação por bases (%)	54,14	70,01
Ca (cmolc dm ³⁻¹)	6,52	7,22
Mg (cmolc dm ³⁻¹)	1,73	2,74
H+Al (cmolc dm ³⁻¹)	7,47	4,42
CTC efetiva	8,88	10,33
CTC à pH 7 (cmolc dm ³⁻¹)	16,27	14,74
Zn (mg dm ³⁻¹)	3,97	5,42
Cu (mg dm ³⁻¹)	0,6	2,53
Mn (mg dm ³⁻¹)	5,53	4,55
Fe (mg dm ³⁻¹)	89,53	132,82
N g kg kg ⁻¹⁻¹	2,45	2,35
DMP (mm)	4,87	4,47
DMG (mm)	2,85	2,42
CMET (cm g ⁻¹)	141	249
Esporos (n°/cm ³)	3	3,95

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Condução do experimento com TMEs

Os TMEs coletados a campo foram acondicionados em *carrinhos*, com temperatura controlada de 12°C, os quais foram mantidos em câmara de crescimento

climatizada com sistema de iluminação de 12 horas (fotoperíodo) e temperatura ambiente de $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Em 24 de agosto de 2016 foram transplantadas duas mudas de cebola para cada TME da cultivar Menina para cada TME. As mudas foram previamente produzidas em canteiros da estação experimental de Ituporanga-SC, conforme sistema de produção vigente no estado de Santa Catarina (EPAGRI, 2013). As plantas foram retiradas de forma aleatória sem seleção de tamanho de mudas. Aproximadamente 30 dias após o transplante das mudas iniciou-se as aplicações dos tratamentos com fungicidas, com aplicações semanais de meia dose do recomendado para a cultura da cebola (recomendações seguindo a bula dos produtos comerciais), estas aplicações semanais de meia dose também são realizadas no campo pelos produtores e alguns estudos apontam que é uma alternativa mais econômica, aplicando estes durante nove semanas.

Os fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil são utilizados para controle de doenças fúngicas, principalmente de míldio (*Peronospora destructor*) e mancha-púrpura (*Alternaria porri*). Foram utilizadas as formulações comerciais Ridomil gold bravo (clorotalonil) e Bravonil ultrax (clorotalonil + metalaxil-M). A composição, doses utilizadas e características dos fungicidas são apresentadas na Tabela 1.2.

Tabela 1.2- Ingrediente ativo, composição, sistema de ação, titular dos registros, quantidade de calda preparada por hectare, dose recomendada por hectare para cultura da cebola, quantidade de produto comercial e de ingrediente ativo usados no experimento e doenças que os fungicidas usados combatem.

Ingrediente Ativo	Clorotalonil	Clorotalonil + Metalaxil-M
Nome comercial	Bravonil ultrex®	Ridomil gold bravo®
Composição	Tetrachloroisophthalonitrile (Clorotalonil) 825 g/kg (82,5 % m/m) Ingredientes inertes 175 g/kg (17,5 % m/m)	Methyl N-methoxyacetyl-N-2,6-xylyl-D-alaninate (Metalaxil-M) 4% m/v (40 g/L) Tetrachloroisophthalonitrile (Clorotalonil) 40% m/v (400 g/L) Ingredientes inertes (total): 76,8% m/v (768 g/L)
Sistema de ação	Fungicida de contato.	Fungicida sistêmico e de contato.
Titular do registro	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.
Modo de ação	Fungicida de contato.	Fungicida sistêmico e de contato.
Quantidade de calda por hectare	800 Litros	800 Litros
Quantidade de produto comercial por hectare	2 kg	2,5 litros
Quantidade de produto comercial e ingrediente ativo utilizado no experimento por hectare	1 kg de produto comercial. 825 gramas de i.a. de Clorotalonil	1,25 litros de produto comercial. 500 gramas de i.a. de Clorotalonil; 50 gramas de i.a. de Metalaxil-M.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Nos tratamentos com inoculação de FMA foi utilizada uma mistura de cinco isolados de FMA oriundos da coleção da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG), localizada na Universidade Regional de Blumenau (FURB). As características dos isolados são apresentadas na Tabela 1.3. No transplântio das mudas de cebola foram adicionados 170g de inoculante misto ao solo contendo em média 1190 esporos. O tratamento sem inoculação foi composto pelas populações nativas de FMA dos solos contendo aproximadamente 3 esporos cm³ de solo oriundo do PD e 3,94 esporos cm³ de solo oriundo do PC.

Tabela 1.3- Espécies/isolados de fungos micorrízicos arbusculares e, origem, sistema, quantidade de inoculante misto (Q-Inoc) e número de esporos por cm³ de cada inoculante.

Espécie/isolado	Origem	Sistema	Q-Inoc (kg)	Esporos cm³
<i>Rhizophagus clarus</i> RJN102A	RJ	-	1,5	14,4
<i>Claroideoglossum etunicatus</i> SCT101A	SC	Pomar de macieira	1,5	3,0
<i>Gigaspora albida</i> SCT200A	SC	Dunas	1,5	9,5
<i>Acaulospora morrowiae</i> SCT063A	SC	Campo nativo	0,75	2,6
<i>Acaulospora koskei</i> SCT048A	SC	Campo nativo	0,75	5,9

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Diariamente os TMEs foram regados com solução de chuva artificial, como proposto por VELTHORST (1993). O volume de chuva fornecido diariamente foi de 113 mL por TME, estabelecido com base no regime hídrico dos últimos 15 anos da região de coleta dos solos em Ituporanga-SC. No último mês da condução do experimento as regas foram realizadas com intervalos de um dia.

Aos 40, 60 e 80 dias após o transplântio das mudas de cebola se realizou uma adubação de cobertura com nitrato de potássio como fonte de nitrogênio, utilizando-se o equivalente a 100 kg/ha, esta parcelada em três aplicações.

Foram coletados os lixiviados gerados pelos TMEs nos *carrinhos*. A primeira coleta foi realizada antes da aplicação dos fungicidas, a segunda quando os recipientes não suportavam mais armazenar o lixiviado e a terceira ao final do experimento. Assim quantificando o volume total de lixiviado gerado.

A coleta do experimento foi realizada após 110 dias de condução. Inicialmente realizou-se o corte da parte aérea das plantas de cebola para as determinações de produção de fitomassa e teores de P. O solo foi retirado dos tubos de TMEs e dividido

em três secções transversais nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Em seguida as secções de 0-10 cm e 10-20 cm foram divididas longitudinalmente em 3 três porções, uma de 1/2 e mais duas de 1/4.

Características analisadas

Na parte aérea da cebola foram determinados a massa fresca (g) e a massa seca (g) após secagem em estufa a 65°C e os teores de P. As raízes e bulbilhos foram lavados, secos com auxílio de papel toalha e pesados para determinação da massa fresca. Os bulbilhos coletados foram secos a 65°C para determinação da massa seca de bulbilhos. A relação parte aérea:raiz foi realizada através da quantificação da massa fresca da parte aérea e das raízes.

Na massa seca da parte aérea e nos bulbilhos foram quantificados os teores de P. Primeiramente foi feita a moagem do material seco, seguida de posterior pesagem de 0,5 g do mesmo em tubos. Foi acionado 3 mL de ácido nítrico e 3 mL de peróxido de hidrogênio, as amostras foram digeridas em micro-ondas da marca Anton Paar, modelo Multiwave 3000, durante uma hora.

Após resfriadas as amostras foram diluídas para 30 mL com água destilada, para posterior leitura do P. Todas as amostras de P da parte aérea quanto o dos bulbilhos foram analisadas no equipamento PerkinElmer (Perkin Elmer, EUA) Optima® 8300 ICP-OES através de placas de indução plana (tecnologia de plasma Flat Plate™) em vez da bobina de carga helicoidal tradicional e ICP-OES de dupla vista com dois sólidos- Detectores SCD de estado que cobrem a faixa espectral de 163-782 nm. Para a determinação do fósforo, o comprimento de onda utilizado foi de 213,617 nm usando o modo de visualização radial.

Para determinação da esporulação dos FMAs nos TMEs, esporos foram extraídos de 100 g de solo seguindo a técnica de peneiragem úmida (GERDEMANN e NICOLSON, 1968), seguida de gradiente de sacarose 20% e 60% levados para centrifuga por 1 minutos a 2000 rpm. No microscópio estereoscópio os esporos com membrana inteira e sem contaminação foram contados.

A colonização micorrízica nas raízes foi determinada utilizando-se o método de coloração proposto por Koske e Gemma (1989), com adaptações para cultura da cebola. As raízes foram clareadas por imersão em uma solução de KOH 10% (hidróxido de potássio) e levadas ao banho-maria (90° C) por 60 minutos. Logo após permanecerem

em repouso por 12 horas as raízes foram lavadas em água corrente para remover o excesso de KOH e imersas em solução de HCl 1% (ácido clorídrico) por 15 horas para acidificação. Em seguida as raízes foram colocadas em uma solução de glicerol acidificado (500 ml Glicerina, 450 ml água destilada, 50 ml HCl 1%) contendo 0,05% de azul de tripan (0,5 g em 1 L de solução) para coloração das estruturas fúngicas. As raízes foram deixadas em banho-maria (90°C) por 50-60 minutos.

O percentual de colonização total, presença de arbúsculos (%) e colonização por vesículas e hifas foi determinado em segmentos de 1 cm de raiz dispostos em lâminas contendo até 10 segmentos. As estruturas foram observadas em microscópio determinando sua presença/ausência em 200 pontos. A porcentagem de colonização considerando os valores de fragmentos colonizados em relação aos não colonizados, foram calculados em arco seno $(x/100)^{1/2}$.

A quantificação do comprimento de micélio extraradicular total no solo (CMET) dos TMEs foi realizada com duas sub-amostras de solo, com aproximadamente 10 g cada, foram usadas para a extração do CMET conforme descrito por Melloni, (1996). A extração do micélio foi realizada suspendendo-se as amostras de solo em 0,5 L de água e passando-se o sobrenadante em peneiras sobrepostas, com malhas de 1 e 0,25 mm. Esta operação foi realizada por três vezes e o filtrado foi submetido à agitação em liquidificador durante 30 segundos na menor velocidade. Após um período de repouso de 2 minutos, retirado 500 mL de sobrenadante e filtrado com auxílio de uma peneira com malha de 0,053 mm. O material retido na peneira foi filtrado a vácuo em membrana quadriculada de triacetato de celulose, com diâmetro de 4,7 cm e porosidade de 0,47 µm. Em seguida, a membrana foi colocada sob lâmina de vidro de 5 x 5 cm, lubrificada com uma gota de óleo de amêndoas para facilitar a visualização no microscópio óptico. Foram avaliados 64 campos em cada membrana, determinando-se o número de intersecções de hifas com as linhas horizontais de uma grade (8 x 8 quadrículos de 1 mm) na ocular do microscópio no aumento de 162,5 vezes. Em uma das oculares foi acoplada uma lente com grade de 20 x 20 quadrículos. Foi determinado o número de intersecções das hifas com as linhas horizontais da grade da ocular. O comprimento do micélio extraradicular total, expresso em centímetros de hifa por grama de solo seco, foi obtido pela seguinte relação:

$$C = [(0,0347 \cdot N) / (10 - U)] \cdot 100, \text{ onde:}$$

C = comprimento de micélio extrarradicular total, em centímetros de hifa por grama de solo seco;

N = soma do número de interseções entre as hifas e linhas horizontais do gride;

U = umidade da amostra de solo, expressa em gramas de água.

No solo na camada de 0-10 cm foi determinado o teor de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total e estabilidade de agregados, seguiram as metodologias descritas acima e os teores P conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk W ($p > 0,05$) e homogeneidade de Bartlett ($p > 0,05$) com uso do Software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004) e quando não atenderam aos critérios foram transformados para $(\log x + 1)$.

Para avaliação dos efeitos dos tratamentos realizou-se análise de variância fatorial (ANOVAF) para cada sistema de cultivo de cebola seguida de teste de médias de Duncan ($p < 0,05$), para as variáveis onde F apresentou $p < 0,05$.

3.3 RESULTADOS

Solo de plantio direto

Os tratamentos com fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil não afetaram a colonização radicular total, sua formação de arbúsculos, hifas e vesículas (Tabela 1.4). A inoculação com o inoculante misto de FMA, entretanto, alterou os percentuais de colonização na raiz da cebola. Não foram observados efeitos dos tratamentos na esporulação dos FMAs nos TMEs.

Tabela 1.4- Resultado da análise de variância fatorial para colonização micorrízica, produção de esporos e comprimento de micélio extrarradicular total (CMET) no solo de plantio direto em TMEs com cultivo de cebola.

Fator de variação	ColTot. ¹	ColArbus ²	ColHif. ³	Esporos ⁴	CMET ⁵
Fungicida	0,46ns	0,21ns	0,74ns	0,97ns	0,10ns
Inoculação	0,01*	0,01*	0,00*	0,08ns	0,79ns
Fungicida x Inoc.	0,98ns	0,85ns	0,60ns	0,31ns	0,18ns

* significativo a 5 %. ns – não significativo. ¹Colonização total, ² Colonização arbuscular, ³ Colonização hifas, ⁴ Esporos no solo. n=36.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Os tratamentos com fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil não afetaram a produção de massa seca da parte aérea e no bulbilho, e acúmulo de fósforo nos mesmos (Tabela 1.5). A inoculação com o inoculante misto de FMAs, entretanto, alterou os percentuais de massa seca da parte aérea, massa seca de bulbilho, fósforo acumulado na parte aérea e fósforo acumulado no bulbilho.

Tabela 1.5- Resultado da análise de variância fatorial para efeitos de biomassa e nutrição da cebola no solo de plantio direto em TMEs com cultivo de cebola.

Fator de variação	MSPA ¹	MSB ²	PAPA ³	PAB ⁴
Fungicida	0,10ns	0,61ns	0,11ns	0,51ns
Inoculação	0,00*	0,02*	0,04*	0,03*
Fungicida x Inoc.	0,16ns	0,08ns	0,15ns	0,10ns

* significativo a 5 %. ns – não significativo. ¹Massa seca da parte aérea, ² Massa seca de bulbilho, ³ Fósforo acumulado na parte aérea e ⁴Fósforo acumulado no bulbilho. n=36.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Os tratamentos com fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil não afetaram os valores de nutrientes como o P e agregação do solo (Tabela 1.6). A inoculação com o inoculante misto de FMAs, entretanto, alterou o DMP na foram na camada de 10-20 cm nos TMEs. Para N e C no solo houve interação entre os fungicidas e inoculantes testados.

Tabela 1.6- Resultado da análise de variância fatorial para nutrientes do solo e agregação no solo de plantio direto em TMEs com cultivo de cebola.

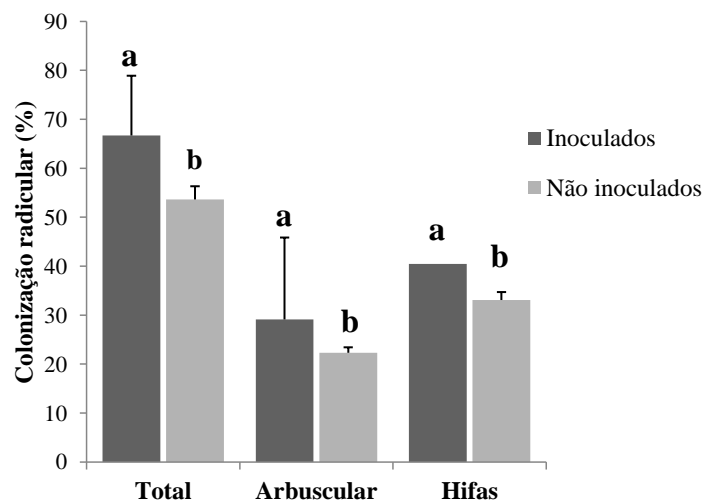
Fator de variação	N solo	C solo	P solo	DMP ¹ 0-10 cm	DMP 10-20 cm
Fungicida	0,23ns	0,044ns	0,21ns	0,49ns	0,30ns
Inoculação	0,24ns	1ns	0,07ns	0,61ns	0,04*
Fungicida x Inoc.	0,03*	0,00*	0,85ns	0,96ns	0,77ns

* significativo a 5 %. ns – não significativo. ¹ Diâmetro médio ponderado. n=36.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Os resultados de colonização radicular foram maiores quando utilizado os inóculos mistos de FMA, quando comparados à não utilização (populações nativas de FMA), sem influência dos tratamentos com fungicidas (Figura 1.2), apresentando maiores percentuais de colonização total, arbuscular e de hifas.

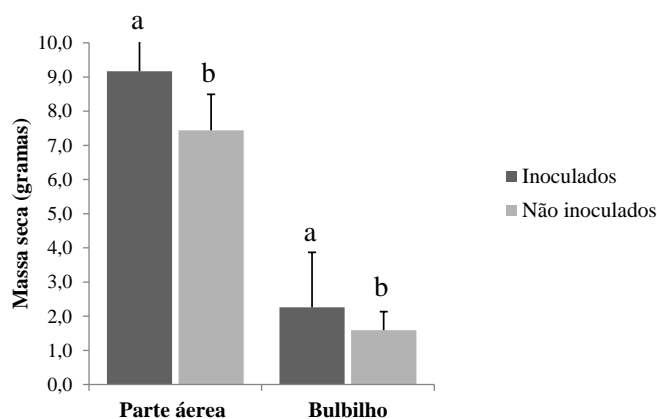
Figura 1.2- Médias dos valores de colonização micorrízica em raízes de cebola para os FMA testados no solo de plantio direto em TMEs.



Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n = 18$
 Fonte: produção do próprio autor, 2017.

A produção MSPA e de massa seca de bulbilhos nas plantas de cebola não sofreram influência dos tratamentos com fungicidas, porém apresentaram médias mais altas quando usado FMA inoculados (Figura 1.3).

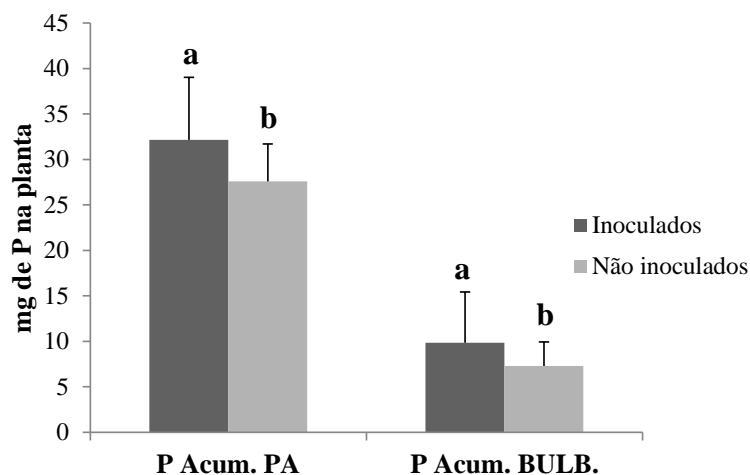
Figura 1.3- Médias da massa seca da parte aérea e de bulbilhos na cebola em solo sob sistema de plantio direto inoculado com fungos micorrizicos arbusculares.



Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n = 18$
 Fonte: produção do próprio autor, 2017.

O fósforo acumulado tanto na parte aérea, quanto nos bulbilhos apresentaram maiores teores quando usado inóculos mistos de FMA, quando comparados a não utilização (Figura 1.4).

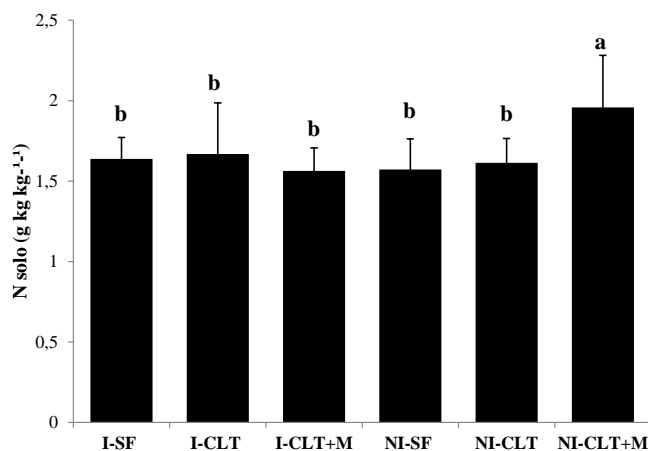
Figura 1.4- Médias de fósforo acumulado na parte aérea (P acum. PA) e fósforo acumulado no bulbilho (P acum. bulb.) das plantas de cebola no solo de plantio direto em TMEs.



Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n=18$
 Fonte: produção do próprio autor, 2017.

O nitrogênio no solo apresentou maiores teores quando submetidos aos tratamentos de sem inoculação com FMA mais aplicação do fungicida clorotalonil em associação (Figura 1.5), porém os demais tratamentos não propiciam diferenças entre si.

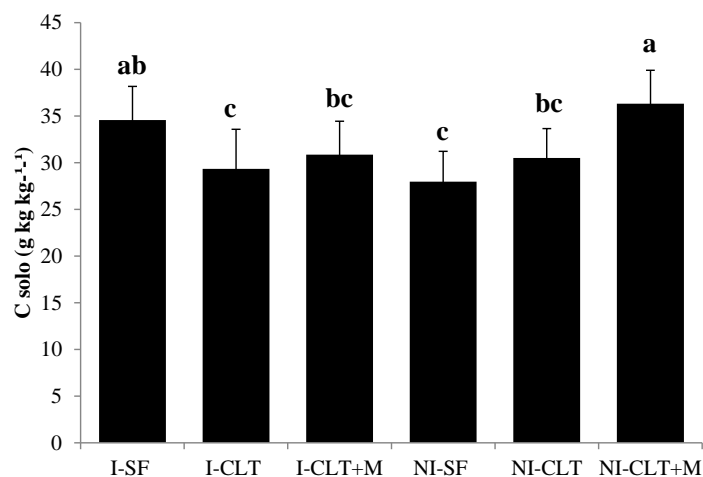
Figura 1.5- Médias dos teores de nitrogênio no solo de plantio direto com cebola de TMEs, sob os tratamentos de FMA e fungicidas.



Inoculados (I) e populações nativas (NI). Sem fungicida (SF), Clorotalonil (CLT) e clorotalonil + metalaxil (CLT+M). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n=6$
 Fonte: produção do próprio autor, 2017.

O C no solo (Figura 1.6) apresentou maiores valores quando não inoculado com FMA mais aplicação do fungicida clorotalonil em mistura, os menores teores foram apresentados com a inoculação com FMA e o fungicida clorotalonil e nas populações nativas sem o uso de fungicidas.

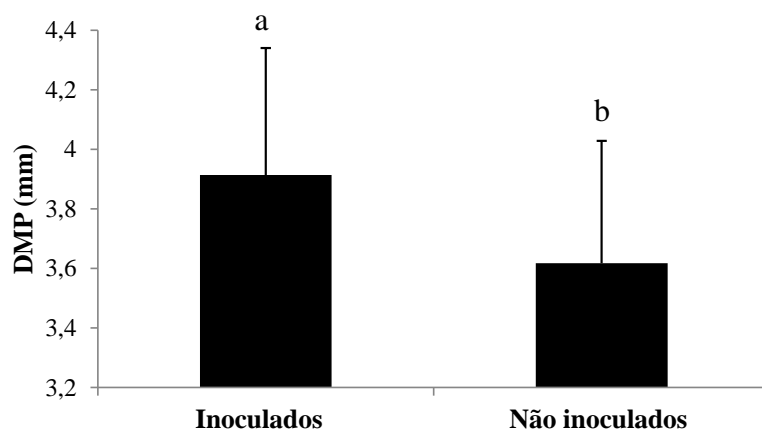
Figura 1.6- Médias dos teores de carbono no solo de plantio direto com cebola em TMEs, sob os tratamentos de FMA e fungicidas.



Inoculados (I) e populações nativas (NI). Sem fungicida (SF), Clorotalonil (CLT) e clorotalonil + metalaxil (CLT+M). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). n=6
 Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Quando avaliado a agregação do solo, observa-se um maior DMP na camada de 10-20 cm do solo para os TMEs submetidos aos FMA inoculados comparado aos tratamentos com populações nativas de FMA (Figura 1.7).

Figura 1.7- Médias dos diâmetros médios ponderados (DMP) dos agregados na camada de 10 a 20 cm no solo de plantio direto com cebola de TMEs, sob os tratamentos de FMA.



Diâmetro médio ponderado (DMP). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n=18$.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

As demais variáveis como relação parte aérea:raiz (%), fósforo na parte aérea (mg kg^{-1}), fósforo no bulbilho (mg kg^{-1}), colonização vesículas (%), hifas no solo (cm g^{-1}), esporos no solo (n° de esporos em 100 g de solo), fósforo no solo (g/kg kg^{-1}), DMP 0-10 (mm), DMG 0-10 (mm), DMG 10-20 (mm), não apresentaram diferenças para os tratamentos de FMA e fungicidas testados, sendo as médias descritas no Apêndice 01.

As correlações de Pearson apontam (Apêndice 02) que quando são positivas ocorre o aumento nas duas variáveis, já quando negativas uma variável aumenta com o declínio da outra. Assim os teores de N no solo apresentam correlações positivas com P no bulbilho e colonização de esporos. O C no solo apresenta correlações positivas com a relação parte aérea raiz fresca, e relação negativa com o número de esporos no solo. P no solo apresenta relações positivas com MSPA, P acumulado na PA, colonização arbuscular e colonização de hifas. O DMP da camada de 0-10 cm apresenta correlações negativas com colonização total e arbuscular. Ainda os índices de agregação da camada de 10-20 cm apontam correlações positivas para MSPA e P acumulado na PA. Hifas no solo não apresentam relações com nenhuma das variáveis explicativas.

Plantio convencional

Os tratamentos com fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil não afetaram a colonização radicular total, sua formação de arbúsculos, hifas e vesículas

(Tabela 1.7). A inoculação com o inoculante misto de FMAs, não alteraram os percentuais de colonização na raiz da cebola. Não foram observados efeitos dos tratamentos na esporulação e comprimento do micélio extrarradicular total dos FMA e fungicidas nos TMEs.

Tabela 1.7- Resultado da análise de variância fatorial para colonização micorrízica, produção de esporos e CMET no solo de plantio convencional em TMEs com cultivo de cebola.

Fator de variação	ColTot. ¹	ColArbus. ²	ColHif. ³	Esporos ⁴	CMET ⁵
Fungicida	0,96ns	0,60ns	0,85ns	0,37ns	0,62ns
Inoculação	0,32ns	0,06ns	0,70ns	0,12ns	0,33ns
Fungicida x Inoc.	0,63ns	0,23ns	0,55ns	0,93ns	0,46ns

* significativo a 5 %. ns – não significativo. ¹Colonização total, ² Colonização arbuscular, ³ Colonização hifas, ⁴ Esporos no solo e ⁵ Comprimento de micélio extrarradicular total. N=36.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Os tratamentos com fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil tiveram influência na produção de massa seca da parte aérea, não interferindo na massa seca de bulbilho, e acúmulo de fósforo na massa seca da parte aérea e bulbilho (Tabela 1.8). A inoculação com o inoculante misto de FMA, entretanto, não alterou os percentuais de massa seca da parte aérea, massa seca de bulbilho, fósforo acumulado na parte aérea e fósforo acumulado no bulbilho.

Tabela 1.8- Resultado da análise de variância fatorial para efeitos de biomassa e nutrição da cebola no solo de plantio convencional em TMEs com cultivo de cebola.

Fator de variação	MSPA ¹	MSB ²	PAPA ³	PAB ⁴
Fungicida	0,05*	0,56ns	0,05ns	0,42ns
Inoculação	0,15ns	0,87ns	0,16ns	0,28ns
Fungicida x Inoc.	0,25ns	0,49ns	0,68ns	0,90ns

Os * significativo a 5 %. ns – não significativo. ¹Massa seca da parte aérea, ² Massa seca de bulbilho, ³ Fósforo acumulado na parte aérea e ⁴Fósforo acumulado no bulbilho N=36.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Os fungicidas apresentaram interação com os FMA estudados para os níveis de N no solo. Os tratamentos com fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil influenciaram significativamente o C no solo na camada de 0-10 cm e DMP de 10-20 cm, porém não afetaram P e DMP de 0-10 cm. (Tabela 1.9). A inoculação com o inoculante misto de FMA, não influenciou as variáveis analisadas.

Tabela 1.9- Resultado da análise de variância fatorial para nutrientes do solo e agregação no solo de plantio convencional em TMEs com cultivo de cebola.

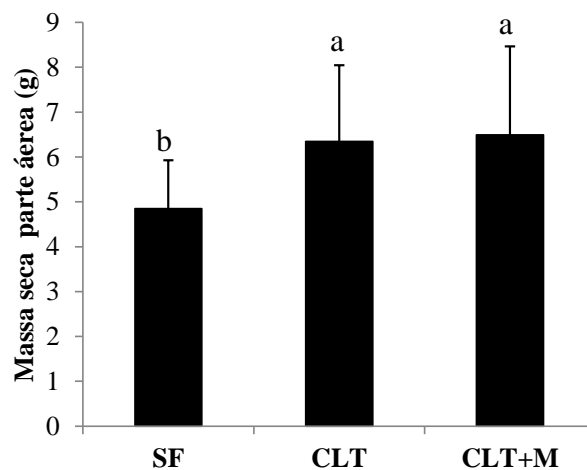
Fator de variação	N solo	C solo	P solo	DMP 0-10 cm	DMP 10-20 cm
Fungicida	0,25ns	0,00*	0,23ns	0,56ns	0,04*
Inoculação	0,74ns	0,42ns	0,17ns	0,74ns	0,58ns
Fungicida x Inoc.	0,02*	0,19ns	0,53ns	0,70ns	0,26ns

* significativo a 5 %. ns – não significativo. ¹ Diâmetro médio ponderado. N=36.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

A MSPA apresentou diferenças significativa para os fungicidas testados que apresentaram um maior incremento médio, quando comparado ao tratamento sem fungicida (Figura 1.8).

Figura 1.8- Médias da massa seca da parte aérea das cebolas para os fungicidas testados no solo de plantio convencional nos TMEs.

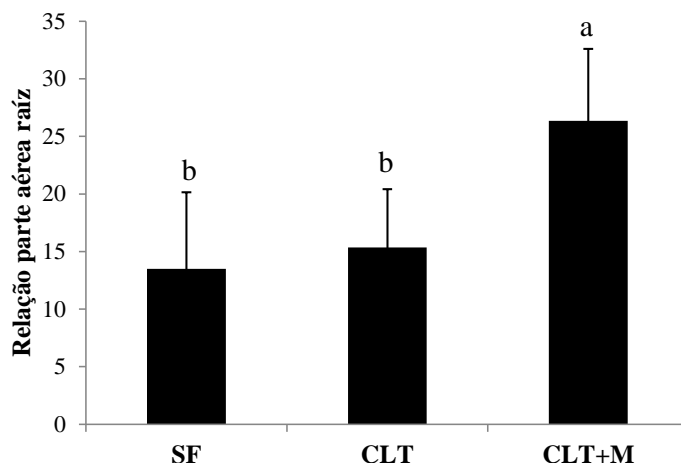


Sem fungicida (SF), Clorotalonil (CLT) e clorotalonil + metalaxil (CLT+M). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). n=12

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

A relação parte aérea:raiz também apresentou diferenças significativas para os tratamentos com aplicações de fungicidas, onde a maior relação pode ser observada (Figura 1.9) quando usado o clorotalonil e sua associação com metalaxil, o tratamento sem fungicidas não difere do tratamento com clorotalonil.

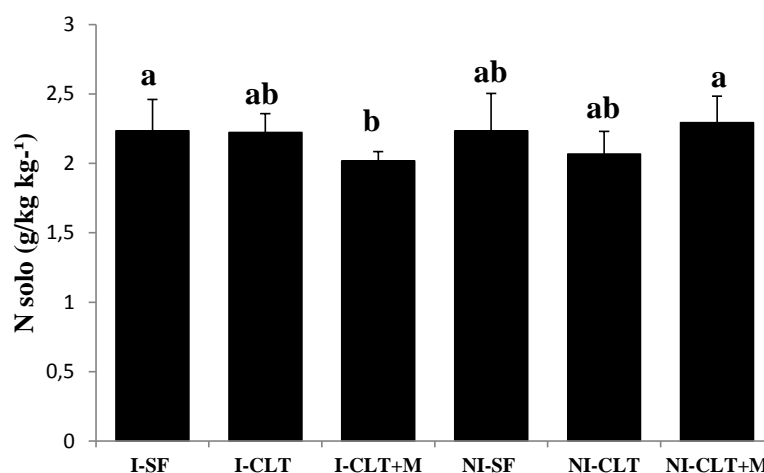
Figura 1.9- Médias da relação parte aérea:raiz das cebolas para os fungicidas testados no solo de plantio convencional nos TMEs.



Sem fungicida (SF), Clorotalonil (CLT) e clorotalonil + metalaxil (CLT+M). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n=12$
 Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Os valores médios de N do solo apresentaram relações entre FMA e fungicidas, com maiores valores quando não utilizados inoculantes mistos de FMA com clorotalonil associado ao metalaxil, e menores valores quando usamos os inoculados e o clorotalonil sozinho, valores em destaque na Figura 1.10.

Figura 1.10- Médias dos teores de nitrogênio no solo de plantio convencional com cebola de TMEs, sob os tratamentos de FMA e fungicidas.

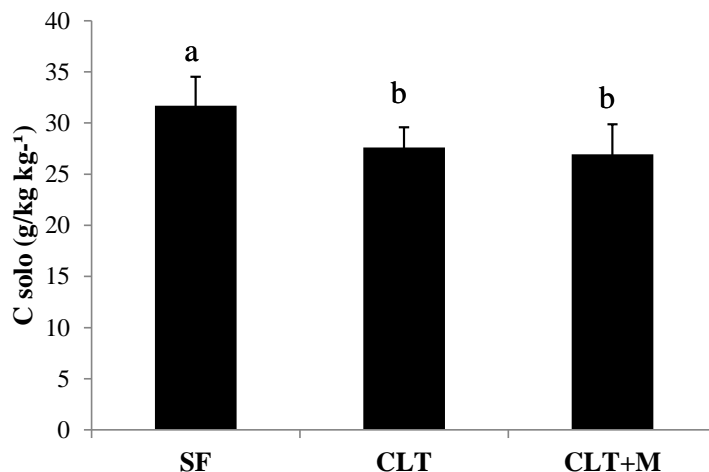


Inoculados (I) e populações nativas (NI). Sem fungicida (SF), Clorotalonil (CLT) e clorotalonil + metalaxil (CLT+M). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n=6$
 Fonte: produção do próprio autor, 2017.

O carbono do solo teve efeito significativo para os tratamentos de fungicidas (Figura 1.11) sendo que quando não se usou fungicidas os teores foram maiores que

comparados aos tratamentos com fungicidas, seja em associação ou com fungicida isolado.

Figura 1.11- Médias dos teores de carbono no solo de plantio convencional com cebola de TMEs, sob os tratamentos de fungicidas testados.

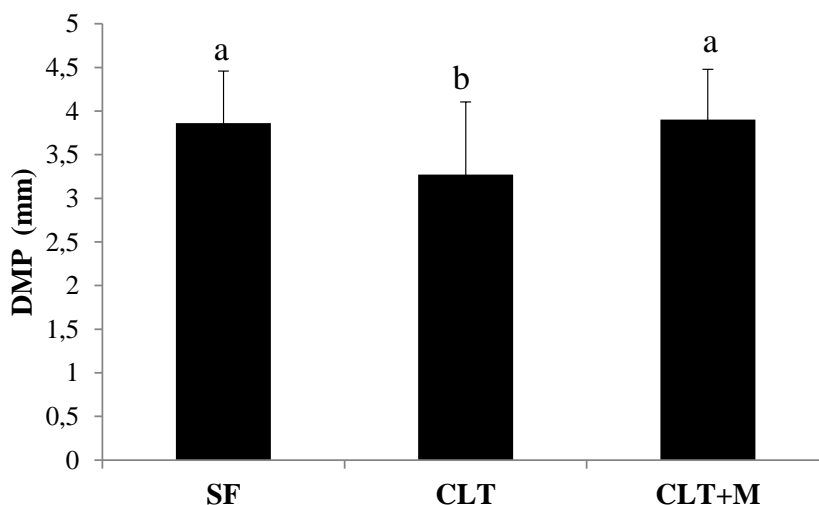


Sem fungicida (SF), Clorotalonil (CLT) e clorotalonil + metalaxil (CLT+M). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n=12$

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

A agregação da camada de 10-20 cm sofreu influência dos tratamentos com fungicidas, sendo que quando se usou a associação de clorotalonil + metalaxil, não diferiu dos tratamentos sem fungicidas, sendo estes maiores que quando testado somente clorotalonil, conforme indicado na Figura 1.12.

Figura 1.12- Diâmetro médio ponderado dos agregados na camada de 10 a 20 cm no solo de plantio convencional com cebola de TMEs, sob os tratamentos de fungicidas.



Sem fungicida (SF), Clorotalonil (CLT) e clorotalonil + metalaxil (CLT+M). Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). $n=12$

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

As demais variáveis como MS bulbilho (g), fósforo na parte aérea (mg kg^{-1}), fósforo no bulbilho (mg kg^{-1}), fósforo acumulado na parte aérea (mg planta^{-1}), fósforo acumulado no bulbilho (mg planta^{-1}), colonização total (%), colonização arbuscular (%), colonização de hifas (%), colonização por vesículas, colonização por esporos (%), hifas no solo (cm g^{-1}), esporos no solo (n° de esporos em 100 g de solo), P no solo (g kg^{-1}), DMP 0-10 (mm), DMG 0-10 (mm) e DMG 10-20 (mm). Não apresentaram significativas para os tratamentos de FMA e fungicidas testados, sendo as médias descritas no Apêndice 1.3.

As correlações de Pearson apontam (Apêndice 1.4) que quando são positivas ocorrendo o aumento nas duas variáveis, já quando é negativa um aumenta e outro diminui. O C no solo apresenta correlações negativas com colonização arbuscular, colonização de hifas e esporos no solo. O P no solo também apresenta correlações negativas com colonização de hifas, ou seja, aumenta C e P no solo diminui as variáveis que eles apresentam relações.

3.4 DISCUSSÃO

Os tratamentos com fungicidas não influenciaram a colonização total, colonização arbuscular e colonização por hifas nas plantas de cebola, esporos e CMET do solo não foram afetados com pelos fungicidas. Ou seja, com ou sem aplicação de fungicidas não houve interferência na atividade dos FMA e sua simbiose com a planta nos dois sistemas do uso do solo. Estes resultados corroboram com os encontrados por Bending et al. (2007), que não encontrou diferenças nas populações de FMA ao testar clorotalonil, em solos de plantio orgânico e convencional submetido a rotação de culturas com cereais no Reino Unido.

Em PC não se encontrou diferenças entre os tratamentos de fungicidas e FMA para as colonizações radiculares, CMET e número de esporos do solo, isto está atrelado ao fato que o número de espécies encontradas na maioria das vezes é menor, indicando que a prática do monocultivo ou preparo convencional seleciona populações de FMA e reduz a riqueza e equitabilidade (CARRENHO et al., 2010). Segundo Johnson et al. (1992) a prática de monocultivo pode selecionar FMA com baixa eficiência simbiótica, diminuindo a eficiência da comunidade nativa, desequilibrando as relações entre populações.

Os maiores resultados de MSPA e massa seca de bulbilho foram encontrados com a inoculação da mistura de espécies/isolados de FMA selecionadas (*Rhizophagus clarus*, *Claroideoglossum etunicatus*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora morrowiae* e *Acaulospora koskei*) isso se deve ao fato de que os fungos também auxiliam na resistência das plantas ao ataque de patógenos do sistema radicular e na capacidade de absorção de água (POZO e AZCONAGUILAR, 2007). Estes resultados corroboram com os encontrados por Arandía et al. (2007) observaram maior diâmetro do pseudocaule e altura de plantas de cebola inoculadas com FMA, já Suhail e Mahdi (2013), além de maior altura de plantas, também verificaram maiores massas fresca e seca de cebolas micorrizadas, quando comparadas as não micorrizadas.

O fósforo acumulado na parte aérea se apresentou em maiores concentrações nos tratamentos com utilização de FMA inoculados, em PD. Plantas colonizadas com FMA têm sua zona de depleção de nutrientes ampliada e podem ter aumentos na absorção de nutrientes inorgânicos, como fósforo (QUEREJETA et al., 2007). Tanto o fósforo acumulado na parte aérea quando o fósforo acumulado no bulbilho não apresentaram diferenças para os tratamentos utilizados com fungicidas e com FMA em PC, mas os valores foram superiores para as duas variáveis quando utilizado populações selecionadas de FMA.

Isso esta atrelado aos manejos das áreas, adaptabilidade das comunidades e a suscetibilidade das culturas e fungos em realizar estas associações. No plantio direto, além dos fungos serem mais eficientes na simbiose se espera que tenha uma maior diversidade de espécies de FMA, além da rotação de culturas favorece a multiplicação dos FMA e estimula o estabelecimento da associação micorrízica e o efeito desta nas plantas (MIRANDA & MIRANDA, 1997).

No PC as variáveis de MSPA e relação parte aérea raiz não sofreram interferências dos tratamentos com FMA, mas apresentaram-se significativas aos fungicidas testados, com maior incremento, quando usado clorotalonil em associação com metalaxil quando comparado ao tratamento sem fungicida estes resultado corroboram com estudo de Marcuzzo et al, (2016), que encontraram maiores produtividades em sistema convencional de cebola, utilizando clorotalonil e metalaxil.

No plantio convencional a MSPA e relação parte aérea raiz para os FMA não apresentam diferenças, mas o menor incremento de MSPA foi no tratamento sem fungicida em comparação aos demais tratamentos com fungicidas. Isso esta relacionado

provavelmente ao melhor controle da incidência de doenças foliares pelos fungicidas aplicados e conseqüentemente melhores desenvolvimentos da área foliar e das raízes.

Durante o estabelecimento da simbiose de FMA, as alterações na área foliar, como ocorre durante uma doença foliar grave ou pelo controle por fungicidas, pode resultar em mudanças na comunidade de FMA (SCHALAMUK et al., 2014). Os mesmos autores destacam que o controle, por exemplo, de infecções graves na cultura do trigo por fungicidas, é positiva para os FMA, isso acontece por selecionar morfótipos com características adaptativas.

Os FMA apresentam uma relação com a área foliar das culturas, por que algumas espécies apresentam dependência obrigatória do carbono produzido pela planta, Ijdo et al. (2010) descobriram que, *Rhizophagus intraradices* pertencente ao gênero *Glomus* tem a produção de esporos modulada pela disponibilidade de carbono, portanto maior quantidade de área foliar verde, maior a fotossíntese, maior quantidade de carbono chega para as raízes.

Os teores de nitrogênio e carbono no solo de plantio direto apresentaram maiores teores quando submetidos aos tratamentos de populações nativas de FMA com uso de clorotalonil e sua associação com metalaxil.

Como o carbono do solo esta ligado aos FMA, uma vez que estes são afetados pela disponibilidade de C fornecido pelas plantas, algumas espécies de FMA são mais adaptadas as flutuações de C no solo, enquanto outras são mais dependentes da disponibilidade de C. Segundo Verbruggen e Kiers 2010), quando as plantas apresentam graves doenças foliares que não são tratadas, o processo de dreno de carbono realizado pelos FMA é afetado.

Portanto, os fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil não influenciam a formação das associações micorrízicas em cebola tanto no plantio direto como no convencional. O que se observa que a inoculação com FMA mistos selecionados realizam de forma eficiente o seu papel mesmo com a aplicação dos dois fungicidas.

Giovannetti et al. (2006) destacam que é extremamente difícil determinar as concentrações de agrotóxicos que os FMA estão realmente sendo submetidos, devido à complexidade do ecossistema do solo. Principalmente em condições que visam simular o que acontece no campo, uma vez que não se consegue isolar e controlar os fatores de formas separadas. Por exemplo, o aumento da colonização micorrízica com FMA de plantas após a aplicação do fungicida metalaxil, foi explicado como um efeito

secundário após supressão primária de uma infestação com *Pythium* sp. (SEYMOUR *et al.*, 1994).

Neste âmbito de estudo, faltam muitos estudos que relacionem os efeitos dos fungicidas de forma associada com as populações de FMA, sejam nativas ou selecionadas. Talvez esta falta de dados esteja relacionada a complexidade destes estudos, uma vez que não se consegue isolar as variáveis, sempre será necessário estudar as características da planta (estágio de crescimento, espécie), fungicidas (dose, modo de aplicação, quantidade de aplicações) e os FMA (genótipo e características destes).

3.5 CONCLUSÕES

As aplicações dos fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil não influenciam o estabelecimento da simbiose micorrizica arbuscular em cebola, tanto em solo sob plantio direto e como de sistema convencional de cultivo.

As inoculações com a mistura de inoculantes de FMA selecionados promoveu a colonização e o crescimento da cebola independente das sucessivas aplicações de clorotalonil e sua associação com metalaxil, quando comparado as populações nativas.

Este estudo é um dos primeiros realizado no Brasil, contribuindo para o conhecimento do compartamento dos FMA quando submetidos as aplicações destes fungicidas, abrindo caminhos para novos estudos representando uma fonte importante de dados.

REFERÊNCIAS

- ARANDIA, W.; ORTUÑO, N.; GUTIERREZ, E.; CÁCERES, A. Evaluación en invernadero de la respuesta del cultivo de cebolla (*Allium cepa*) de la variedad rosada criolla al uso combinado con aciduantes y micorrizas (M.A.). **Facultad de Agronomía Universidad Mayor San Simon**, p. 1-11, 2007.
- BENDING, G., RODRIGUES-CRUZ, M.S., LINCOLN, S.D. 2007. **Fungicide impacts on microbial communities in soils with contrasting management histories.** *Chemosphere*. 69, 82-88.
- CARENHO, R., et al. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J.O.; DE SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil.** Lavras: Editora UFLA, 1 ed. p. 153-214, 2010.
- CHANNABASAVA, H.C.; LAKSHMAN; JORQUERA, M.A. **Effect of fungicides on association of arbuscular mycorrhiza fungus *Rhizophagus fasciculatus* and growth of Proso millet (*Panicum miliaceum* L.)** *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2015, 15 (1), 35-45.
- CHARRON, G. et al. **Response of onion plants to arbuscular mycorrhizae, 1. Effects of inoculation method and phosphorus fertilization on biomass and bulb firmness.** *Mycorrhiza*, v.11, n.4, p.187-197, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2ª.ed. Rio de Janeiro: 2006.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. **Sistema de produção para cebola: Santa Catarina** (4ª revisão). Florianópolis: 2013.
- GALVÁN, G. A.; KUYPER, T. W.; K., BURGER. **Genetic analysis of the interaction between *Allium* species and arbuscular mycorrhizal fungi.** *Theoretical and Applied Genetics*, v. 122, n. 5, p. 947-960, 2011.
- GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. **Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting.** *Transactions of the British Mycological Society*, 46:235-244, 1963.

GIANINAZZI, S.; GOLLOTTE, A.; BINET, M.-N.; VAN TUINEN, D.; REDECKER, D.; WIPF, D. **Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services.** Mycorrhiza, 20 (2010), pp. 519-530.

GIOVANNETTI, M. ; TURRINI, A. ; STRANI, P. ; C. SBRANA, C.; AVIO, L.; PIETRANGELI, B. **Mycorrhizal fungi in ecotoxicological studies: soil impact of fungicides, insecticides and herbicides .**Prevention Today. v. 2, n. 1-2, 47-62. 2006.

GREENWOOD, D. J.; GERWITZ, A.; STONE, D. A.; BARNES, A. **Root development of vegetable crops.** Plant and Soil, v. 68, n. 1, p. 75-96, 1982.

IJDO M., SHTICKZELLE N., CRANENBROUCK S., DECLERCK S. 2010. **Do arbuscular mycorrhizal fungi with contrasting life-history strategies differ in their responses to repeated defoliation?** FEMS Microbiol. Ecol. 72 (1): 114–122.

HART, M.M.; TREVORS, J.T. **Microbe management: application of mycorrhizal fungi in sustainable agriculture.**Front. Ecol. Environ., 3 (2005), pp. 533-539.

JIN, H.; GERMIDA, J. J.; WALLEY, F. L. **Suppressive effects of seed-applied fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) differ with fungicide mode of action and AMF species.** Applied Soil Ecology, v.72, p.22-30, 2013.

JOHNSON, N.C., et al. **Mycorrhizae: Possible explanation for yield decline with continuous corn and soybean.** Agronomy Journal, 84:387-390, 1992.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. **Size distribution of aggregation.** In: BLACK, C.A. ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society Agronomy, p.499-510, 1965. (Agronomy Monograph, 9).

KNACKER T., et al. **Ring-testing and field validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) - an instrument for testing potentially harmful substances: conceptual approach and studies design.** Ecotoxicology, 13:5-23, 2004.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. **A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas.** Mycological Research, 92:486-505, 1989.

MARCUZZO, L. L.; JUNIOR, F. O. G. M.; GONÇALVES, P. A. S. **Severidade do mldio da cebola em diferentes sistemas de produo.** Summa Phytopathol., Botucatu, v. 42, n. 4, p. 366-368, 2016

MELLONI, R. **Quantificação de micélio extrarradicular de fungos micorrízicos arbusculares em plantas cítricas**. Piracicaba, SP, ESALQ, Dissertação (Curso de Mestrado), 1996.

MIRANDA, J.C.C.; MIRANDA, L.N. **Micorriza arbuscular**. In: VARGAS, M.A.T.; Hungria, M., eds. *Biologia dos Solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 67:71, 1997.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSAARD, L. **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Ed. UFLA. 768p, 2008.

POZO, M.J.; AZCÓN-AGUILAR, C. **Unraveling mycorrhizainduced resistance**. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 393-398, 2007.

QUEREJETA, J.I.; EGERTON-WARBURTON, L.M.; ALLEN, M.F. **Hydraulic lift may buffer rhizosphere hyphae against the negative effects of severe soil drying in a California Oak savanna**. *Soil Biology & Biochemistry*, 39:409-417, 2007.

ROUPHAEL, Y.; FRANKEN, P.; SCHNEIDER, C.; SCHWARZ, D.; GIOVANNETTI, M.; AGNOLUCCI, M.; PASCALE, S.; BONINI, P.; COLLA, G. **Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops** *Sci. Hortic. Amst.*, 196 (2015), pp. 91-108.

SCHALAMUK, S.; VELAZQUEZ, S.; SIMÓN, M. R.; CABELLO, M. **Effect of Septoria leaf blotch and its control with commercial fungicides, on arbuscular-mycorrhizal-fungal colonization, spore numbers, and morphotype diversity**. *Journal of plant protection research* v. 54, No. 1 (2014).

SEYMOUR, N.P., THOMPSON, J.P. & FISKE, M.L. 1994. **Phytotoxicity of fosetyl Al and phosphonic acid to maize during production of vesicular–arbuscular mycorrhizal inoculum**. *Plant Disease*, 78, 441–446.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management im tropical agrosystems**. Eschborn:GTZ, 1991, 371p.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal Symbiosis**. 3 ed. New York: Academic Press, 2008.

STATSOFT, Inc., **STATISTICA** (Data analysis software system). Version 7. Disponível em: www.statsoft.com, 2004.

SUHAIL, F. M.; MAHDI, I. A. Test the efficiency of mycorrhizal fungi (*Glomus fasciculatum*) and magnetic water to reduce the effect of salinity on plant onion (*Allium cepa* L.). **Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture**, v. 70, n. 2, p. 655-672, 2013.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

VAHALA, J., 2003. **Ozone Responses e Russian Roulette in Plant Cells**. Academic dissertation. Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki 2003.

VARGAS, L.K. & SCHOLE, D. **Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação**. R. Bras. Ci. Solo, 22:411-417, 1998.

VELTHORST, E. J. **Manual for Chemical Water Analysis**. Wageningen: **Agricultural University**. 1993.

VERBRUGGEN E., KIERS E.T. 2010. **Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems**. *Evol. Appl.* 3 (5–6): 547–560.

4 CAPÍTULO II

EFEITOS DA APLICAÇÃO DO FUNGICIDA CLOROTALONIL E SUA ASSOCIAÇÃO COM METALAXIL NA FAUNA EDÁFICA DO SOLO EM CULTIVO DE CEBOLA (*Allium cepa* L.)

RESUMO

Devido a grande importância da cultura da cebola para o estado de Santa Catarina e ao grande número de aplicação de fungicidas ao longo do seu ciclo de cultivo torna-se importante estudar o impacto da aplicação destes agrotóxicos na fauna edáfica. A diversidade da fauna edáfica é responsável pela manutenção da qualidade do solo e seus processos vitais como a decomposição de material orgânico, na ciclagem de nutrientes, na manutenção da estrutura física. Neste sentido o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos das aplicações do fungicida clorotalonil e sua associação com metalaxil-M sobre a diversidade estrutural das comunidades da fauna edáfica em Cambissolo húmico cultivado em sistema de plantio direto e convencional com cebola, uma vez que dados testando essas moléculas de forma separada ou em associação são escassos, com relação ao efeito das mesmas sobre os organismos da fauna do solo. Para isso foi conduzido em condições de semi-campo um experimento em mesocosmos do tipo “terrestrial model ecosystem - TME” em esquema fatorial 3 x 2 sendo três tratamentos de aplicação de fungicidas (sem aplicação, clorotalonil, e clorotalonil + metalaxil) e dois de inoculação de FMA (sem inoculação e com inoculação de uma mistura de *Rhizophagus clarus*, *Claroideoglomus etunicatus*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora morrowiae* e *Acaulospora koskei*). Esses tratamentos foram distribuídos em 36 TMEs de um cambissolo húmico em plantio direto (PD) e 36 TMEs de plantio convencional (PC) de cebola, em um delineamento inteiramente casualizado com 6 repetições. As aplicações dos fungicidas foram realizadas semanalmente com meia dose do produto como recomendado e realizados pelos produtores de cebola. Para inoculação foi retirado o solo da superfície do tubo e inoculado com 170 g de uma mistura de FMA, contendo aproximadamente 1190 esporos. Em seguida foram transplantadas duas mudas de cebola da cultivar “Menina”, o experimento foi conduzido por aproximadamente 110 dias. Ao final do experimento avaliou-se a macrofauna na camada de 0 a 40 cm do tubo, e mesofauna nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm dos TMEs. As aplicações continuadas dos fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil ao longo do ciclo da cebola alteram a diversidade estrutural das comunidades da mesofauna nos dois sistemas de uso do solo, onde alguns grupos de indivíduos como os ácaros e colembôlos se destacam na camada de 0 a 10 cm, as dípteras e colembôlos foram destaques na camada de 0-20 cm, porém os tratamentos não influenciam nos organismos da macrofauna.

Palavras chave: Agrotóxicos. Mesofauna. Macrofauna. Ecotoxicologia. *Allium cepa* L.

EFFECT OF THE APPLICATION OF FUNGICIDE CHLOROTALONIL AND ITS ASSOCIATION WITH METALAXIL IN EDAFICA FAUNA OF SOIL IN ONION CULTIVATION (*Allium cepa* L.)

ABSTRACT

Due to the great importance of onion culture to the state of Santa Catarina and to the great number of fungicide application at the time of its cultivation cycle, it is important to study the impact of the application of these pesticides on edaphic fauna. The diversity of the edaphic fauna is responsible for the maintenance of the soil quality and its vital processes, such as the decomposition of organic material, in the nutrient cycling, in the maintenance of the physical structure. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effects of the application of the chlorothalonil fungicide and its association with metalaxyl-M on the structural diversity of the edaphic fauna communities in humic Cambisol cultivated under no-tillage and conventional onion systems. In order to do this, an experiment was carried out in an experiment in mesocosmos of terrestrial model ecosystem (TME), in a 3 x 2 factorial scheme, with three application treatments of fungicides (without application, chlorothalonil and chlorothalonil + metalaxyl) and two Inoculation of FMA (without inoculation and inoculation of a mixture of *Rhizophagus clarus*, *Claroideoglopus etunicatus*, *Gigaspora albida*, *Acaulospora morrowiae* and *Acaulospora koskei*). These treatments were distributed in 36 TMEs of a humid Cambisol of no-till (PD) and 36 of conventional tillage (PC) of onion, in a completely randomized design with 6 replicates. Fungicide applications were made weekly with half a dose of the product as recommended for onion culture. For inoculation the soil was removed from the surface of the tube and inoculated with 170 g of a mixture of FMA. At the end of the experiment the macrofauna was evaluated in the 0 to 40 cm layer of the tube, and mesofauna in the layers of 0 a 10 and 10 to 20 cm from the TMEs. The continued applications of the chlorothalonil fungicides and their association with metalaxyl throughout the onion cycle alter the structural diversity of the mesofauna communities in the two systems of land use, where some groups of individuals such as mites and collembola stand out in the 0 to 10 cm and in the 0-20 cm layer the diptera and collembola, but, do not influence the macrofauna.

Keywords: Agrotoxic. Mesofauna. Macrofauna. Ecotoxicology. *Allium cepa* L.

4.1 INTRODUÇÃO

Os organismos da fauna edáfica desempenham importantes funções no solo, garantindo o equilíbrio e sustentabilidade dos ecossistemas. Eles mediam e realizam diversos processos básicos como respiração, fixação de carbono, controle biológico, regulação dos processos de decomposição da matéria orgânica, ciclagem e liberação de nutrientes, estabelecimento de interações em diferentes níveis com microrganismos e processos de formação, estruturação e estabilidade do solo (CORREIA, 2002; BARETTA et al., 2003; KORASAKI et al., 2013).

A fauna edáfica é parte ativa e sensível às interferências no ambiente agrícola, ocasionadas pelo manejo do solo e das culturas (BARETTA *et al.*, 2003). Alguns grupos da fauna podem desaparecer por completo, ou serem reduzidos, em sua abundância e diversidade, como resultado de processos de degradação do solo (LAVELLE, 1996., LORANGER et al., 1999). Uma das causas das alterações nas comunidades da fauna do solo está relacionada com a implementação das monoculturas, tal como ocorre em muitas áreas na região produtora em Santa Catarina.

Na cultura da cebola são empregados principalmente dois sistemas de plantio, o direto e convencional. No estado de Santa Catarina o preparo convencional (PC) ainda é o mais utilizado (SANTOS, 2016). O cultivo da cebola sob sistema de plantio convencional do solo caracteriza-se pelo excessivo revolvimento do solo, sendo na ocasião do plantio, realizada aração e, posteriormente, destorroamento com enxada rotativa, o que ocasiona a desagregação do solo e, conseqüentemente, sua degradação física, química e biológica (LOSS et al., 2015).

O sistema de plantio direto realizado na cultura da cebola tem por característica a mobilização do solo restrita à linha de plantio e plantas de cobertura são utilizadas para a produção de biomassa, que é mantida na superfície, formando um tapete de fitomassa para posterior transplante das mudas de cebola. A utilização de plantas de cobertura no PD incrementa a quantidade de fitomassa depositada na superfície do solo, reduzindo a erosão e aumentando a infiltração e retenção de água no solo (HOORMAN, 2009; PANACHUKI *et al.*, 2011; DONEDA *et al.*, 2012; GUEDES FILHO *et al.*, 2013). Esta fitomassa, na medida em que vai se decompondo, promove o aumento da atividade microbiana, o acúmulo de nutrientes e de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo e favorece ao aumento da estabilidade dos agregados (LOSS et al., 2011; CASALI, 2012; LIMA FILHO et al., 2014).

Em se tratando de fauna do solo, esta pode ser beneficiada pelo aumento na qualidade e na quantidade de resíduos vegetais que servem de alimento e abrigo para estes organismos edáficos (BARETTA et al., 2003). Entretanto, sistemas de monoculturas, ao fornecerem um único substrato orgânico, podem provocar perdas de diversidade biológica do solo (BARETTA et al., 2003).

As diferentes coberturas vegetais e de práticas culturais pode atuar diretamente ou indireta sobre a população da fauna edáfica. Esse efeito, muitas vezes, está relacionado à quantidade e à qualidade de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo (ROZA-GOMES *et al.*, 2013). Os impactos diretos são expostos na ação mecânica, com aração e gradagem e aos efeitos deletérios do uso de agrotóxicos, já os efeitos indiretos estão relacionados a modificações da estrutura do habitat e dos recursos alimentares (TROGELLO et al., 2008).

Deste modo a fauna do solo se mostra sensível a modificações ocorridas no ambiente, tanto as biológicas, físicas e químicas, como resultantes das práticas de manejo do solo e de cultivo empregadas. Dependendo do tipo e intensidade do impacto promovido ao ambiente, tais práticas podem ter efeitos sobre determinadas populações, ou seja, podem aumentar diminuir ou não influenciar na diversidade de organismos edáficos (BARETTA et al., 2011).

Como a cultura da cebola está sujeita a várias aplicações de agrotóxicos e estes segundo Lavorenti et al. (2003), invariavelmente chegam ao solo através de diversas formas, impactando em diferentes escalas as comunidades da fauna do solo. Contudo os impactos negativos da aplicação de agrotóxicos podem ser distintos dependendo da origem química (molécula), grau de especiação química e grau de recalcitrância do composto aplicado.

Objetivou-se avaliar os efeitos de aplicações do fungicida clorotalonil e sua mistura com metalaxil-M sobre a diversidade estrutural das comunidades da fauna edáfica em solo de plantio direto e convencional.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento em condições de semi-campo, em mesocosmos simulando ecossistemas terrestres (Knacker et al., 2004), denominados de *terrestrial model ecosystems* (TME), foi realizado no Laboratório de Ecologia do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, município de Lages.

Foram testados os efeitos de três tratamentos de fungicidas (sem fungicida, clorotalonil e clorotalonil+metalaxil) no estabelecimento e reposta micorrízica da cebola não inoculada (população nativa) inoculada com fungos micorrízicos arbusculares em solos de plantio convencional e direto (Figura 2.1). O experimento seguiu arranjo fatorial de 3 x 2 com 6 repetições, em delinamento completamente casualizado, perfazendo 36 TMEs para cada sistema de cultivo da cebola e um total de 72 TMEs.

Local de coleta dos mesocosmos

A coleta dos mesocosmos (TME) foi realizada na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) em áreas de plantio convencional (PC) e direto (PD) de cebola, no município de Ituporanga, Santa Catarina. Nesta região o clima é classificado segundo Köppen como tipo Cfa, com clima subtropical úmido, com verão quente.

A área PD é de 396 m². Da década de 1970 até meados de 1996 a esta área era utilizada para plantio convencional de cebola. A partir de então, a área vem sendo utilizada para plantio direto/cultivo mínimo de cebola, com preparo somente na linha de plantio. Neste sistema são utilizadas como plantas de cobertura: *Mucuna aterrima* (mucuna) no verão e *Avena strigosa* (aveia) ou *Secale cereale* (centeio) + *Brassica sativus* (nabo forrageiro) no inverno. Esta área não recebe aplicações de fungicidas desde 2009, pois vem sendo manejada sobre o sistema orgânico.

A área PC, que totaliza 384 m² vem sendo cultivada desde a década de 1970 até meados de 1996 em PC com aração e duas gradagens, com uso eventual de enxada rotativa. De 1996 a 2007 essa área foi submetida ao plantio direto/cultivo mínimo com preparo somente na linha de plantio. A partir de 2007 a área passou novamente a ser cultivada no sistema de PC, com uso de aração mais duas gradagens. Após o plantio da cebola a área é cultivada com *Pennisetum glaucum* (milheto) no verão. Nos dois sistemas de produção a cultivar de cebola utilizada é a Epagri 352 - Bola Precoce. Nesta área, são realizadas de 6 a 8 aplicações anuais de fungicidas desde 2007, sendo utilizados clorotalonil em associação com metalaxil e mancozeb.

Cada unidade experimental (TME) possuía 17,5 cm de diâmetro e 40 cm de profundidade, a coleta destes foi realizada com o auxílio de uma retroescavadeira para introduzir a estrutura composta de amostrador mais tubo de polietileno no solo e removê-los. Os tubos de polietileno contendo os monólitos indeformados foram

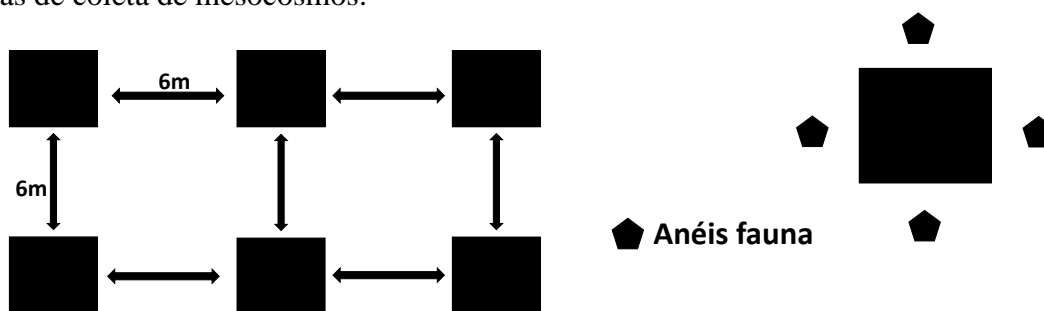
retirados do amostrador e levados para o laboratório de Ecologia do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias, UDESC, Lages – SC.

Caracterização da Fauna edáfica no campo

Nas áreas de coleta dos TMEs foram realizadas amostragens de solo para caracterização preliminar da fauna edáfica conforme esquema apresentado na Figura 2.1.

Estabeleceu-se uma grade com 6 pontos amostrais espaçados 6 metros. Em cada um dos pontos foram coletadas 4 amostras para Funil de Berlese (A coleta foi feita com anéis de metal de 6 cm de diâmetro e 5 cm de comprimento).

Figura 2.1- Esquema de amostragem de solo para caraterização da fauna edáfica das áreas de coleta de mesocosmos.



Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Os anéis foram acondicionados com papel plástico de PVC, furados com alfinetes e levados para o Laboratório de Ecologia do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages – SC.

Os anéis foram submetidos ao Funil de Berlese para extração dos organismos pertencentes à mesofauna, estes permanecendo por três dias, seguida de posterior identificação e contagem dos indivíduos em microscópio estereoscópio.

Ao total foram encontrados 1431 indivíduos, sendo 531 no Plantio Direto (PD) e 900 em Plantio Convencional (PC) distribuídos em 9 grupos. A diversidade de Shannon Wiener (H') no PD foi de 1,56 e o índice de dominância (D) foi de 0,29. No PC os índices encontrados foram H' foi 1,67 e D 0,28.

Condução do experimento com TMEs

Os TMEs coletados a campo foram acondicionados em *carrinhos*, com temperatura controlada de 12°C, os quais foram mantidos em câmara de crescimento climatizada com sistema de iluminação (fotoperíodo) e temperatura ambiente de 25 ± 2°C.

Em 24 de agosto de 2016 foram transplantadas duas mudas de cebola da cultivar Menina para cada TME. As mudas foram previamente produzidas em canteiros da estação experimental de Ituporanga-SC conforme sistema de produção vigente no estado de Santa Catarina (EPAGRI, 2013) estas foram plantas de forma aleatória sem seleção de tamanho de mudas. Aproximadamente 30 dias após o transplântio das mudas iniciou-se as aplicações dos tratamentos com fungicidas, com aplicações semanais de meia dose do recomendado para a cultura da cebola (recomendações seguindo a bula dos produtos comerciais), aplicando estes durante nove semanas.

Os fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil tudados são utilizados para controle de doenças fúngicas, principalmente de míldio (*Peronospora destructor*) e Mancha-púrpura (*Alternaria porri*). Foram utilizadas as formulações comerciais Ridomil gold bravo (clorotalonil) e Bravonil ultrax (clorotalonil + metalaxil-M). A composição, doses utilizadas e características dos fungicidas são apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Ingrediente ativo, composição, sistema de ação, titular dos registros, quantidade de calda preparada por hectare, dose recomendada por hectare para cultura da cebola, quantidade de produto comercial e de ingrediente ativo usados no experimento e doenças que os fungicidas usados combatem.

Ingrediente Ativo	Clorotalonil	Clorotalonil + Metalaxil-M
Nome comercial	Bravonil ultrex®	Ridomil gold bravo®
Composição	Tetrachloroisophthalonitril e (Clorotalonil) 825 g/kg (82,5 % m/m) Ingredientes Inertes 175 g/kg (17,5 % m/m)	Methyl N-methoxyacetyl-N-2,6-xylyl-D-alaninate (Metalaxil-M) 4% m/v (40 g/L) Tetrachloroisophthalonitrile (Clorotalonil) 40% m/v (400 g/L) Ingredientes inertes (total): 76,8% m/v (768 g/L)
Sistema de ação	Fungicida de contato.	Fungicida sistêmico e de contato.
Titular do registro	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.
Quantidade de calda por hectare	800 Litros	800 Litros
Quantidade de produto comercial por hectare	2 kg	2,5 litros
Quantidade de produto comercial e ingrediente ativo utilizado no experimento por hectare	1 kg de produto comercial. 825 gramas de i.a. de Clorotalonil	1,25 litros de produto comercial. 500 gramas de i.a. de Clorotalonil; 50 gramas de i.a. de Metalaxil-M.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Nos tratamentos com inoculação de FMA foi utilizada uma mistura de cinco isolados de FMA oriundos da coleção da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG), localizada na Universidade Regional de Blumenau (FURB). As características dos isolados são apresentadas na tabela 2.2. No transplântio das mudas de cebola foram adicionados 170g de inoculante misto ao solo contendo em média 1190 esporos. O tratamento sem inoculação foi composto pelas populações nativas de FMA dos solos contendo aproximadamente 3 esporos cm³ de solo oriundo do PD e 3,94 esporos cm³ de solo oriundo do PC.

Tabela 2.2- Espécies/isolados de fungos micorrízicos arbusculares e, origem, sistema, quantidade de inoculante misto (Q-Inoc) e número de esporos por cm³ de cada inoculante.

Espécie/isolado		Origem	Sistema	Q-Inoc (kg)	Esporos cm ³
<i>Rhizophagus</i> RJN102A	<i>clarus</i>	RJ	-	1,5	14,4
<i>Claroideoglomus</i> etunicatus SCT101A		SC	Pomar de macieira	1,5	3,0
<i>Gigaspora</i> SCT200A	<i>albida</i>	SC	Dunas	1,5	9,5
<i>Acaulospora</i> SCT063A	<i>morrowiae</i>	SC	Campo Nativo	0,75	2,6
<i>Acaulospora</i> SCT048A	<i>koskei</i>	SC	Campo Nativo	0,75	5,9

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Diariamente os TMEs foram regados com solução de chuva artificial, como proposto por Velthorst (1993). O volume de chuva fornecido diariamente foi de 113 mL por TME, estabelecido com base no regime hídrico dos últimos 15 anos da região de coleta dos solos em Ituporanga-SC. No último mês da condução do experimento as regas foram realizadas com intervalos de um dia.

Aos 40, 60 e 80 dias após o transplante das mudas de cebola se realizou uma adubação de cobertura com nitrato de amônio como fonte de nitrogênio, utilizando-se o equivalente a 100 kg/ha, esta parcelada em três aplicações.

Foram coletados os lixiviados gerados pelos TMEs nos *carrinhos*. A primeira coleta foi realizada antes da aplicação dos fungicidas, a segunda quando os recipientes não suportavam mais armazenar o lixiviado e a terceira ao final do experimento. Assim quantificando o volume total de lixiviado gerado.

A coleta do experimento foi realizada após 110 dias de condução. Inicialmente realizou-se o corte da parte aérea das plantas de cebola. O solo foi retirado dos tubos de TMEs e dividido em três seções transversais nas profundidades de 0-10; 10-20 e 20-40 cm de profundidade. Em seguida as seções de 0-10 cm e 10-20 cm foram divididas longitudinalmente em 3 três porções, uma de 1/2 e mais duas 1/4.

Avaliação da fauna edáfica

A avaliação da fauna edáfica por catação manual foi feita para 1/2 da primeira camada de solo (0-10 cm) e segunda camada (10-20 cm) e de toda terceira camada (20-40 cm). Desta maneira, durante a desmontagem dos TMEs foi feita a triagem manual, onde os indivíduos foram armazenados em álcool 70% e seguidos de posterior identificação e contagem em microscópio estereoscópio.

Ainda para avaliação da fauna edáfica ¼ da camada superficial (0-10 cm) e da segunda camada (10-20 cm) de cada TME foi levado ao Funil de Berlese modificado (SOUTHWOOD, 1968) que consiste em uma armação adaptada dividida em dois compartimentos: no compartimento superior são acessas lâmpadas de 40 W e no compartimento inferior colocam-se funis, nos quais são alocadas as amostras sobre uma peneira com malha de 2 mm e frascos com solução detergente para coleta dos organismo, as amostras permanecendo por três dias, após extraídas, as amostras foram lavadas em peneiras de malha de 0,100 mm para remoção da solução detergente, transferidas para tubos falcon, e preservadas em álcool etílico absoluto até a identificação.

As amostras foram vertidas em placa de Petri e visualizadas em microscópio estereoscópio. Insetos e artrópodes em geral foram identificados com o auxílio de diagramas e chaves (GALLO et al., 2002; GULLAN et al., 2008; CAMARGO *et al.*, 2015), bem como os insetos imaturos (MEYER ,1993; COSTA et al., 2006), colêmbolos (ZEPPELINI-FILHO e BELLINI 2004) e invertebrados em geral (RUPPERT e BARNES, 1996).

Posterior a identificação foram calculados a abundância total dos indivíduos, a riqueza de espécies (Rq), o índice de Dominância de Simpson (Ds) e o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H').

Análise estatística

Os índices de diversidade para PD e PC foram calculados utilizando o programa PAST 3.14 (HAMMER *et al.*, 2016).

Para identificar diferenças estatísticas entre os tratamentos com FMA e fungicidas, os grupos da fauna foram submetidos a uma análise de Permutações Múltiplas – PERMANOVA com base no índice de similaridade de Bray-Curtis. Como

forma de avaliar os grupos que mais contribuíram para separação dos tratamentos observados na PERMANOVA efetuaram-se análises de similaridade (SIMPER), obtendo-se a contribuição de cada grupo da fauna para a dissimilaridade observada entre os tratamentos. Essas análises foram efetuadas utilizando o programa PAST 3.14 (HAMMER *et al.*, 2016).

4.3 RESULTADOS

Macrofauna

Com base na análise de Permutações Múltiplas – PERMANOVA, índice de similaridade de Bray-Curtis, não foram observados efeitos dos tratamentos de inoculação de fungos micorrizicos arbusculares (FMA) e de aplicação de clorotalonil na abundância dos grupos da macrofauna e seus índices de diversidade nos mesocosmos com solo de plantio direto e de plantio convencional.

Nos solos de plantio direto foram observados indivíduos pertencentes a 10 grupos com abundância variável por tratamentos conforme apresentado na Tabela 2.3. Nos mesocosmos os principais grupos em termos de abundância foram: Enchytraeidae (variação de 4 a 29 indivíduos), Oligochaeta (5-10) e Hymenoptera (0-39). Os grupos Chilopoda, Coleoptera, Orthoptera, Diplopoda, Blattodea, Diptera e Larvas, apresentaram ocorrência rara (1-2).

Tabela 2.3- Médias da abundância da macrofauna (nº de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total e índices de diversidade da macrofauna em solos de plantio direto em cebola submetidos a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n = 6)

Grupos	Inoculado			Não inoculado		
	SF*	CLT	CLT+M	SF	CLT	CLT+M
Oligochaeta	10	10	8	5	10	5
Enchytraeidae	14	23	29	4	27	26
Chilopoda	1	2	1	0	2	2
Coleoptera	0	0	0	1	0	1
Hymenoptera	6	9	0	5	39	0
Orthoptera	0	0	0	1	0	0
Diplopoda	1	2	0	2	0	0
Blattodea	0	0	1	0	0	0
Diptera	1	0	0	0	0	0
Larvas	0	1	0	0	0	0
Abundância total	33	47	39	18	78	34
Riqueza de espécies (Rq)	6	6	4	6	4	4
Dominância de Simpson (Ds)	0,56	0,62	0,63	0,76	0,68	0,71
Shannon-Wiener (H')	0,70	0,58	0,61	0,33	0,52	0,46

*SF = sem fungicidas.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

No plantio convencional foram observados indivíduos pertencentes a 6 grupos com abundância variável por tratamentos conforme apresentado na Tabela 2.4. Nos mesocosmos os principais grupos em termos de abundância foram: Oligochaeta (variação de 1 a 12 indivíduos), Enchytraeidae (1-11), Coleoptera (0-5) e Chilopoda (0-5). Os grupos de Hymenoptera (3) e Araneae (1) se apresentam com ocorrência rara.

Tabela 2.4- Médias da abundância da macrofauna (n° de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total e índices de diversidade da macrofauna em solos de plantio convencional em cebola submetidos a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n = 6)

Grupos	Inoculado			Não inoculado		
	SF*	CLT	CLT+M	SF	CLT	CLT+M
Oligochaeta	12	8	6	3	1	2
Enchytraeidae	1	11	1	1	10	9
Chilopoda	0	2	4	0	1	2
Coleoptera	5	0	0	0	0	2
Hymenoptera	0	1	0	0	1	1
Araneae	0	1	0	0	0	0
Abundância total	18	23	11	4	13	16
Riqueza de espécies (Rq)	3	5	3	2	4	5
Dominância de Simpson (Ds)	0,75	0,60	0,79	1,00	0,73	0,53
Shannon-Wiener (H')	0,35	0,60	0,31	0,00	0,45	0,71

*SF = sem fungicidas.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Mesofauna na camada de 0 a 10 cm

A análise de PERMANOVA, com base no índice de similaridade de Bray-Curtis, demonstrou efeitos dos tratamentos de inoculação de FMA e aplicação de clorotalonil e em mistura com metalaxil no na abundância dos grupos da mesofauna na camada superficial dos solos.

No solo de **plantio direto** as diferenças encontradas entre os tratamentos, apresentam valores de pseudo-F = 2,052; P(perm) < 0,0052 e permutações =9999 para as seguintes combinações:

- Inoculado + sem fungicida (I-SF) *versus* Não inoculado + Clorotalonil + Metalaxil (NI-CTL+M);
- Inoculados + Cloritalonil + Metalaxil (I-CLT+M) *versus* Não inoculado + sem fungicida;
- Não inoculado + sem fungicidas (NI-SF) *versus* Inoculados + Clorotalonil (I-CLT);
- Não inoculado + sem fungicidas (NI-SF) *versus* Não inoculado + Clorotalonil + Metalaxil (NI-CLT+M);

- Não inoculado + Clorotalonil + Metalaxil (NI-CLT+M) *versus* Inoculados + Clorotalonil (I-CLT).

No solo de **plantio convencional** as diferenças encontradas entre os tratamentos, apresentam valores de pseudo-F = 1,495; P (perm) <0,0922 e permutações =9999 para as seguintes combinações:

- Inoculado + sem fungicida (I-SF) *versus* Não inoculado + sem fungicida (NI-SF);
- Inoculado+ Clorotalonil + Metalaxil (NI-CTL+M) *versus* Não inoculado + sem fungicida (NI+SF).

Os dados de abundância da mesofauna na camada superficial dos solos foram, por conseguinte, submetidos à análise de similaridade permutacional - SIMPER para verificar a contribuição dos grupos na separação dos efeitos dos tratamentos.

No solo de plantio direto (Tabela 2.5) os principais grupos que contribuíram para dissimilaridade entre os tratamentos com FMA e fungicidas, foram Collembola, Diptera, Acarina e Thysanoptera, apresentando uma contribuição acumulativa para diferença dos tratamentos de aproximadamente 85%.

Tabela 2.5- Contribuição (%), contribuição acumulativa (%) e média da abundância (nº. de indivíduos) dos grupos responsáveis pela dissimilaridade observada na camada de 0 a 10 cm no solo de plantio direto dentro das combinações de tratamentos testadas. ($p < 0,05$).

I¹-SF³ x NI²-CLT+M⁴				
Grupos	% Contribuição	% Acumulativa	Média I-SF	Média NI-CLT+M
Diptera	25,19	25,19	12,7	3,83
Acarina	22,15	47,34	19,3	19,5
Collembola	20,02	67,36	9,17	3,17
Thysanoptera	13,08	80,44	5,67	1,83
I-CLT+M x NI-SF				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média I-CLT+M	Média NI-SF
Collembola	34,18	34,18	6	13
Diptera	26,71	60,89	3,83	11,50
Acarina	20,41	81,30	14,8	9
Thysanoptera	8,87	90,17	3,83	4,17
NI-SF x NI-CLT⁵				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média NI-SF	Média NI-CLT
Collembola	31,72	31,72	13	7
Diptera	24,39	56,11	11,5	5,5
Acarina	19,83	75,94	9	14,5
Hemiptera	10,23	86,17	0,667	3,33
NI-SF x NI-CLT+M				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média NI-SF	Média NI-CLT+M
Acarina	30,32	30,32	9	19,50
Collembola	29,58	59,9	13	3,17
Diptera	21,38	81,28	11,50	3,83
Thysanoptera	9,83	91,11	4,17	1,83
NI-CLT+M x I-CLT				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média NI-CLT+M	Média I-CLT
Collembola	29	29	3,17	13,5
Acarina	25,8	54,8	19,5	14,7
Thysanoptera	15,45	70,25	1,83	6
Hymenoptera	15,24	85,49	1	5,83

¹I=Inoculado, ²NI=não inoculado, ³SF=Sem fungicida, ⁴CLT+M=Clorotalonil+Metalaxil
⁵CLT=Clorotalonil.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

No PC os resultados de SIMPER (Tabela 2.6) apontam que Collembola, Acarina, Thysanoptera e Diptera são as espécies que colaboram com mais de 90% para

diferença dos tratamentos. Onde a espécie de maior relevância foi a Collembola, contribuindo com aproximadamente 50% para as diferenças entre os tratamentos.

Tabela 2.6- Contribuição (%), contribuição acumulativa (%) e média da abundância (no. de indivíduos) dos grupos responsáveis pela dissimilaridade observada na camada de 0 a 10 cm no solo de plantio convencional dentro das combinações de tratamentos testadas. ($p < 0,05$).

Grupos	I ¹ -SF x NI ² -SF			
	% Contribuição	% Acumulativa	Média I-SF	Média NI-SF
Collembola	49,27	49,27	13,5	33
Acarina	21,82	71,09	21,2	15,8
Thysanoptera	10,85	81,93	4,5	7,67
Diptera	10,58	92,52	12,2	11,5

	I ¹ -CLT+M ³ x NI-SF			
	% Contribuição	% Acumulativa	Média I-CLT+M	Média NI-SF
Collembola	47,96	47,96	12,7	33
Acarina	17,82	65,78	18,3	15,8
Diptera	13,66	79,44	5	11,5
Thysanoptera	11,72	91,17	5,5	7,67

¹I=Inoculados, ²NI=não inoculado, ³CLT=Clorotal, CLT+M=Clorotalonil+Metalaxil.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Foram encontrados 3615 organismos representantes da mesofauna nos TMEs, destes, 10 grupos com 1423 indivíduos no PD e 11 grupos com 2192 indivíduos no PC.

No PD os grupos que apresentaram o maior número de organismos foram o grupo Acarina (551), o Collembola (311), Diptera (253) e Thysanoptera (151), independente dos tratamentos com FMA e fungicidas aplicados (Tabela 2.7). Chilopoda, Larva e Blattodea apresentaram o menor número de indivíduos, com 16, 5 e 2, respectivamente, em todos os tratamentos, apresentando ocorrência rara. Na utilização de FMA e fungicidas o maior número de indivíduos foi encontrado no tratamento com FMA inoculado sem fungicida (320), e menor número quando aplicado a mistura de clorotalinil + metalaxil no tratamento com inoculação de FMA (187).

No tratamento sem fungicida, a inoculação de fungos micorrízicos apresentou maior número de indivíduos em relação ao tratamento sem inoculação, com 320 e 240 indivíduos, respectivamente.

Tabela 2.7- Médias de abundância da mesofauna na camada de 0 a 10 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio direto de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)

Grupo	Inoculado			Não inoculado		
	SF*	CLT	CLT+M	SF	CLT	CLT+M
Collembola	55	81	36	78	42	19
Diptera	76	29	23	69	33	23
Hemiptera	12	5	5	4	20	9
Hymenoptera	5	35	3	6	2	6
Acarina	116	88	89	54	87	117
Coleoptera	7	1	6	4	3	1
Thysanoptera	34	36	23	25	22	11
Blattodea	0	1	0	0	0	1
Chilopoda	15	0	0	0	0	1
Larva	0	3	2	0	0	0
Abundância total	320	279	187	240	209	188
Riqueza de espécies (Rq)	8	9	8	7	7	9
Dominância de Simpson (Ds)	0,28	0,33	0,34	0,30	0,29	0,44
Shannon-Wiener (H')	1,43	1,31	1,29	1,37	1,39	1,13

*SF = sem fungicidas.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

No PC os grupos que apresentaram maiores números de indivíduos foram o Collembola com 815, seguido do Acarina, com 673 (Tabela 2.8). Os grupos Araneae, Chilopoda, Psocoptera e Symphyla apresentaram menor número de indivíduos independente dos tratamentos com FMA e fungicidas utilizados. O maior número de organismos encontrados foi no tratamento sem inoculação de FMA e o menor na inoculação de FMA, ambos na aplicação do fungicida em mistura de clorotalonil e metalaxil.

Tabela 2.8. Médias de abundância da mesofauna na camada de 0 a 10 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio convencional de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)

	Inoculados			Não inoculados		
	SF*	CLT	CLT+M	SF	CLT	CLT+M
Collembola	81	54	76	198	115	291
Diptera	73	62	30	69	57	49
Hemiptera	22	11	8	14	15	3
Hymenoptera	6	3	5	6	5	7
Acarina	127	138	110	95	78	125
Coleoptera	2	2	2	3	4	2
Thysanoptera	27	65	33	46	41	25
Araneae	1	1	0	0	0	0
Symphyla	0	1	0	0	0	0
Chilopoda	0	0	1	1	0	0
Psocoptera	0	1	1	0	0	0
Abundância total	339	338	266	432	315	502
Riqueza de espécies (Rq)	8	10	9	8	7	7
Dominância de Simpson (Ds)	0,31	0,36	0,33	0,34	0,31	0,45
Shannon-Wiener (H')	1,39	1,28	1,33	1,33	1,39	1,09

*SF = sem fungicidas.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Mesofauna na camada de 10 a 20 cm

Com base na análise de Permutações Múltiplas – PERMANOVA, índice de similaridade de Bray-Curtis, não foram observados efeitos dos tratamentos de inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e de aplicação de clorotalonil na abundância dos grupos da mesofauna e seus índices de diversidade nos mesocosmos com solo de plantio direto.

A análise de PERMANOVA, com base no índice de similaridade de Bray-Curtis, demonstrou efeitos dos tratamentos de inoculação de FMA e aplicação de clorotalonil na abundância dos grupos da mesofauna na camada de 10 a 20 cm dos solos de **plantio convencional**. As diferenças encontradas entre os tratamentos, apresentam valores de pseudo-F = 1,79; P (perm) < 0,0149 e permutações =9999 para as seguintes combinações:

- Inoculado + sem fungicida (I-SF) *versus* não inoculado + sem fungicida (NI- SF);
- Inoculado + sem fungicida (I-SF) *versus* não inoculado + Clorotalonil (NI-CLT);

- Inoculados + Clorotalonil (I-CLT) *versus* não inoculado + Clorotalonil (NI-CLT);
- Inoculados + Clorotalonil + Metalaxil (I-CLT+M) *versus* não inoculado + sem fungicidas (NI-SF)
- Inoculados + Clorotalonil + Metalaxil (I-CLT+M) *versus* não inoculado + Clorotalonil (NI-CLT).

Os dados de abundância da mesofauna na camada 10 a 20 cm dos solos de plantio convencional foram, por conseguinte, submetidos à análise de similiaridade permutacional - SIMPER (Tabela 2.9) para verificar a contribuição dos grupos na separação dos efeitos dos tratamentos. Os principais grupos que contribuíram para dissimilaridade entre os tratamentos com FMA e fungicidas, foram Diptera, Acarina, Hymenoptera, Collembola e Thysanoptera, apresentando uma contribuição acumulativa para diferença dos tratamentos de aproximadamente 85%.

Tabela 2.9- Contribuição (%), contribuição acumulativa (%) e média da abundância (nº. de indivíduos) dos grupos responsáveis pela dissimilaridade observada na camada de 10 a 20 cm no solo de plantio convencional dentro das combinações de tratamentos testadas. ($p < 0,05$).

I¹-SF³ x NI²-SF				
Grupos mesofauna			Média	Média
Edáfica	% Contribuição	% Acumulativa	I-SF	NI-SF
Diptera	35,59	35,59	12,2	3,67
Hymenoptera	19,03	54,62	5,67	0,667
Acarina	17,92	72,54	5,67	1,83
Thysanoptera	7,74	80,28	2,17	0,5
Hemiptera	5,919	86,2	1,17	0,167
I-SF x NI-CLT⁴				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média	Média
			I-SF	NI-CLT
Diptera	33	33	12,2	4
Hymenoptera	18,32	51,32	5,67	1,17
Acarina	17,39	68,71	5,67	3,67
Thysanoptera	8,162	76,88	2,17	0,5
Collembola	6,185	83,06	0,667	1,33
I-CLT x NI-CLT				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média	Média
			I-BR	NI-CLT
Diptera	31,12	31,12	8,5	4
Acarina	26,91	58,03	6,33	3,67
Hymenoptera	13,11	71,14	2,83	1,17
Collembola	11,46	82,6	2	1,33
Thysanoptera	8,957	91,56	1,83	0,5
I-CLT+M⁵ x NI-SF				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média	Média
			I-CLT+M	NI-SF
Diptera	54,94	54,94	22,5	3,67
Hymenoptera	9,83	64,77	3,67	0,667
Acarina	9,747	74,52	3,33	1,83
Collembola	9,72	84,24	4,17	0,333
Coleoptera	4,977	89,21	2,17	0,5
I-CLT+M x NI-CLT				
	% Contribuição	% Acumulativa	Média	Média
			I-CLT+M	NI-CLT
Diptera	52,02	52,02	22,5	4
Collembola	10,92	62,94	4,17	1,33
Acarina	10,08	73,02	3,33	3,67
Hymenoptera	9,956	82,97	3,67	1,17
Coleoptera	5,322	88,29	2,17	0

¹I=Inoculados (I), ²NI=Não inoculado, ³SF=Sem fungicida, ⁴CLT=Clorotalonil ⁵ CLT-M=Clorotalonil+ Metalaxil

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Foram encontrados 1281 organismos representantes da mesofauna nos TMEs, destes, 10 grupos com 445 indivíduos no PD e 9 grupos com 836 indivíduos no PC.

O PD os grupos que apresentaram o maior número de organismos foram o grupo Acarina (188), o Collembola (136), Diptera (49) e Hymenoptera (41), independente dos tratamentos com FMA e fungicidas aplicados (Tabela 2.10). Hemiptera, Coleoptera e Thysanoptera, e Araneae apresentaram o menor número de indivíduos, com 3, 3, 3 e 1, respectivamente, em todos os tratamentos. Na utilização de FMA e fungicidas o maior número de indivíduos foi encontrado no tratamento com FMA inoculado e utilização de clorotalonil (99), e menor número quando aplicado a clorotalonil no tratamento com populações nativas de FMA (54).

Tabela 2.10- Médias de abundância da mesofauna na camada de 10 a 20 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio direto de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)

Grupos	Inoculados			Não inoculados		
	SF*	CLT	CLT+M	SF	CLT	CLT+M
Collembola	18	15	26	34	23	20
Diptera	3	16	11	5	8	6
Hemiptera	1	1	0	0	0	1
Hymenoptera	0	38	2	0	1	0
Acarina	46	26	37	35	17	27
Coleoptera	0	0	1	1	1	0
Thysanoptera	0	0	0	2	1	0
Araneae	0	0	0	0	0	1
Symphyla	0	0	1	4	2	1
Psocoptera	2	3	1	4	1	2
Abundância total	70	99	79	85	54	58
Riqueza de espécies (Rq)	6	6	7	7	8	7
Dominância de Simpson (Ds)	0,53	0,42	0,51	0,46	0,51	0,57
Shannon-Wiener (H')	0,77	1,10	0,86	0,97	0,91	0,78

*SF = sem fungicidas.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

No PC os grupos que apresentaram maiores números de indivíduos foram o Dipteras com 341, seguido do Acarina, com 144 (Tabela 2.11). Os grupos Hemiptera, Coleoptera, Psocoptera e Diplura apresentaram menor número de indivíduos independente dos tratamentos com FMA e fungicidas utilizados. Os maiores números de organismos encontrados foram nos tratamentos com inoculação de FMA e aplicação de clorotalonil + metalaxil e sem fungicida, 237 e 184, respectivamente. O menor número de organismos

encontrados foi quando se utilizou as populações nativas de FMA sem aplicação de fungicidas.

Tabela 2.11- Médias de abundância da mesofauna na camada de 10 a 20 cm (nº. de indivíduos por mesocosmo) por grupos taxonômicos e total, e índices de diversidade em solo de plantio convencional de cebola submetido a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aplicação de Clorotalonil (CLT) e associação com Metalaxil (CLT+M). (n=6)

	Inoculados			Não inoculados		
	SF*	CLT	CLT+M	Sf	CLT	CLT+M
Collembola	4	12	25	2	8	29
Diptera	73	51	135	22	24	36
Hemiptera	7	2	7	1	3	9
Hymenoptera	34	17	22	4	7	59
Acarina	34	38	20	11	22	19
Coleoptera	10	0	13	3	0	2
Thysanoptera	13	11	10	3	3	2
Diplura	0	0	2	0	2	3
Psocoptera	9	3	3	1	3	3
Abundância total	184	134	237	47	72	162
Riqueza de espécies (Rq)	8	7	9	8	8	9
Dominância de Simpson (Ds)	0,28	0,37	0,40	0,57	0,34	0,46
Shannon-Wiener (H')	1,47	1,26	1,24	0,83	1,18	0,98

*SF = sem fungicidas.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

4.4 DISCUSSÃO

No primeiro momento foram avaliados os grupos da fauna presentes no campo em solo de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) cultivados com cebola. Foram encontrados um total de 1431 indivíduos, sendo 531 encontrados no PD e 900 no PC, distribuídos em 9 grupos. A diversidade de Shannon Wiener (H') em PD foi de 1,56 e o índice de dominância (D) foi de 0,29. No PC o H' foi 1,67 e D 0,28. Os valores de H' para a avaliação do campo em PD foi próximo ao encontrado por Rosa et al. (2015), enquanto o de PC foi maior que o encontrado por BROWN (2001).

Os resultados encontrados no experimento com TMEs apontam que as aplicações contínuas de clorotalonil e clorotalonil + metalaxil ao longo do ciclo da cultura da cebola, não influenciaram os organismos da macrofauna (0-40 cm) para os dois sistemas de uso do solo, mas influenciaram a mesofauna para a camada de 0-10 cm dos TMEs para os dois sistemas de uso do solo. BARETTA et al. (2006) destacam que a maior concentração de organismos da macrofauna encontra-se na camada superficial de 0-10 cm de profundidade, considerada a

camada mais influenciada pelas práticas de manejo, como preparo do solo, adubação e resíduos orgânicos.

A adaptação dos organismos edáficos pode ocorrer para o plantio convencional que recebe aplicação de fungicidas, o clorotalonil com baixa solubilidade, persistência de baixa a moderada, meia-vida no solo consideravelmente curta, com pouca mobilidade ao longo do perfil do solo (van SCOY e TJEERDEMA, 2014). O fato deste fungicida apresentar esta característica pode estar relacionada ao fato de ter poucos trabalhos com esta molécula na literatura e assim a escassez de dados para estes organismos estudados.

No plantio direto, por não receber aplicações de fungicidas os tratamentos em que foram mantidos assim, foi observado maior número de indivíduos quando comparado aos tratamentos com aplicação de fungicida. Isto pode estar atrelado ao fato de que estes organismos serem sensíveis e reagirem rapidamente às mudanças provocadas pelas atividades antrópicas e naturais, as alterações na estrutura da comunidade e diversidade da fauna edáfica (SILVA et al., 2011). Ou ainda devido ao fato que o clorotalonil tende a permanecer na superfície ou nas camadas superiores do solo (VOULVOULIS et al., 2000).

Os grupos Collembola e Acarina foram mais encontrados nos dois sistemas de uso do solo, PD e PC. Esses resultados corroboram com a descrição de Lins et al. (2007), são os grupos mais numerosos no solo, constituindo 72 a 97 % da população total de artrópodes da fauna edáfica. Segundo Damé et al. (1996), ácaros e colêmbolos são os indivíduos mais abundantes da mesofauna e servem como indicadores das condições biológicas do solo, devido às suas sensibilidades às condições ambientais.

O índice de dominância expressa a relação entre o número de indivíduos de uma determinada espécie e o número de indivíduos de todas as espécies encontradas (GOMES e FERREIRA, 2004). Este índice apresentou maiores valores para aplicações de fungicidas, isso aconteceu pela presença de maior número de indivíduos para os grupos de ácaros, colêmbolos e moscas, caracterizando a adaptabilidade destes organismos ao ambiente que está sendo submetidos. A predominância de alguns gêneros, possivelmente deve-se ao fato, de que a dominância numérica de poucas espécies é uma característica da grande maioria das comunidades biológicas (McGILL et al., 2007).

Os resultados de H' e de abundância de indivíduos apresentaram-se maiores para os tratamentos com a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, este fato pode ser atribuído pela característica de que a fauna edáfica interage com os microrganismos do solo (CORREIA e OLIVEIRA, 2005). As respostas dos organismos edáficos podem ser influenciadas de forma positiva ou negativa principalmente por competição, no qual as

espécies mais resistentes conseguem explorar melhor os recursos disponíveis (EVANS, 2016). Além de serem predadores dos outros organismos do solo como os FMA.

As principais diferenças encontradas na análise de PERMANOVA e de SIMPER para os TMEs na camada de 0-10 em PD indicaram que existem diferenças entre os tratamentos testados tanto para FMA e fungicidas. Os grupos que mais colaboraram para estas diferenças foram Collembola (30%), Diptera (25%), Acarina (23%) e Thysanoptera (10%). ROSA (2013) realizando a mesma análise para sistema de uso de PD encontrou que o grupo Collembola foi o mais representativo para as diferenças dos tratamentos por ele testados.

LEITÃO et al., (2014) realizando testes sub-letais utilizando o fungicida clorotalonil, observaram que os colêmbolos são mais sensíveis que as minhocas quando expostos a esse produto. E que os enqueteídeos são menos sensíveis que os colêmbolos e minhocas.

A baixa sensibilidade de enqueteídeos quando submetidos a tratamentos com clorotalonil também tem sido relatada para outros agrotóxicos, como inseticidas policlorados, fungicidas específicos e outros inseticidas do mesmo grupo químico (BEZCHLEBOVÁ et al., 2007; DAAM et al., 2011; FRAMPTON et al., 2006).

Os tratamentos aplicados sobre o solo de PC os grupos que mais representativos foram Collembola (56%), Acarina (19%), Thysanoptera (10%) e Diptera (8%) na camada de 0 a 10 cm dos TMEs. Quando se avaliou PC na camada de 10 a 20 cm nos TMEs os grupos que mais colaboraram para as diferenças entre os tratamentos foram o Diptera (41%), Acarina (16%), Hymenoptera (14%), Collembola (8 %) e Thysanoptera (6%). Os resultados encontrados corroboram com os de Segat (2016), os grupos de ácaros e dípteras foram os que mais contribuíram para diferenciar os tratamentos.

O grupo dos colêmbolos contribuiu de maneira mais expressiva para diferenciar os tratamentos no PC, nas diferentes camadas do solo, principalmente na camada superficial. Os colêmbolos também são encontrados na interface solo-serapilheira, em locais com matéria orgânica em decomposição (PINHO et al., 2007). Quando a cultura apresenta um bom manejo das plantas de cobertura como o que vinha sendo feito nas áreas de coleta, auxiliam no desenvolvimento dos indivíduos deste grupo.

No PC, na camada de 10 a 20 cm o grupo Diptera foram os que mais contribuíram para as diferenças dos tratamentos, resultados que corroboram com os encontrados por (ALMEIDA et al., 2016). As larvas destes organismos no solo são importantes, pois ajudam na decomposição dos resíduos e transformam matéria orgânica.

As diferenças dos grupos encontrados neste trabalho podem estar relacionadas às práticas de manejo aplicado nestas áreas. Vários estudos têm demonstrado que o uso e manejo

do solo podem interferem negativamente na estrutura das populações de organismos edáficos (BARETTA et al., 2003; MUNIZ et al., 2011; PIMENTEL et al., 2011; PORTILHO et al., 2011; PAULI et al., 2012).

BERUDE et al., 2015 apontam que os ácaros e colêmbolos, são considerados potenciais bioindicadores de qualidade do solo, isso está ligado a disponibilidade de alimento, qualidade deste alimento e os manejos que estes solos recebem. Estes dois organismos influenciam diretamente a fertilidade do solo, estimulando a atividade microbiana, inibindo fungos e bactérias causadoras de doenças (Primavesi, 1990) e transportando matéria orgânica em decomposição para níveis mais profundos do perfil do solo (SAUTTER e SANTOS, 1994).

4.5 CONCLUSÕES

As aplicações contínuas dos fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil não afetaram os organismos da macrofauna do solo em solos de plantio direto e convencional de cebola.

As aplicações contínuas dos fungicidas clorotalonil e sua associação com metalaxil afetaram os organismos da mesofauna tanto na camada de 0 a 10 e de 10-20 cm do solo em solos de plantio direto e convencional de cebola.

O conhecimento sobre a diversidade de grupos da fauna edáfica em cultivo de cebola ainda é incipiente. Tendo insuficiência de pesquisas envolvendo os efeitos dos fungicidas metalaxil e clorotalonil sobre os organismos da meso e macrofauna em cultivo de cebola ainda deixa em aberto uma lacuna imensa no conhecimento da biodiversidade destes organismos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, O.D.; BAYER, C.; ALMEIDA, H.C. **Fauna e atributos microbiológicos de um Argissolo sob sistemas de cobertura no Sul do Brasil**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.9, p.1140-1147, set. 2016.
- BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., DE OLIVEIRA FILHO, L. C. I., ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo, in: KLAUBERG FILHO, O., MAFRA, A. L., GATIBONI, L. C. (Eds), **Tópicos especiais em ciência do solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 2011, pp. 141-192.
- BARETTA, D.; MAFRA, A. L.; SANTOS, J. C. P.; Amarante, C. V. A.; BERTOL, I. **Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo** *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.11, p.1675-1679, nov. 2006.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; MAFRA, Á.L. et al. **Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense**. *Revista de Ciência Agroveterinárias*, Lages, v.2, n.2, p.97-106, 2003.
- BERUDE, M. C.; GALOTE, J. K. B.; PINTO, P. H.; LI, A.A. **A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora**. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.22; p. 2015 14 .
- BEZCHLEBOVÁ, J., CERNOHLÁVKOVÁ, J., LÁNA, J., SOCHOVÁ, I., KOBETICOVÁ, K., HOFMAN, J., 2007. **Effects of toxaphene on soil organisms**. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 68, 326–334.
- BROWN, G.G.; PASINI, A.; BENITO, N.P.; AQUINO, A.M. & CORREIA, M.E.F. **Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems: A preliminary analysis**. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MANAGING BIODIVERSITY IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS*. Montreal, 2001.p.8-10.
- CAMARGO, A. J. A. et al. **Coleções Entomológicas: Legislação brasileira, coleta, curadoria e taxonomia para as principais ordens**. [s.l: s.n.]. v. 30, 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.

CORREIA, M. E. F. **Relações entre a Diversidade da Fauna de Solo e o Processo de Decomposição e seus Reflexos sobre a Estabilidade dos Ecossistemas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, n. Documentos 156, p. 33, 2002.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. Importância da fauna para a ciclagem de nutrientes. In: AQUINO, A.M; ASSIS, R. L. (Eds.). **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para a agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 18 -29, 2005.

COSTA, C.; IDE, S.; SIMONKA, C. E. **Insetos imaturos: metamorfose e identificação**. Ribeirão Preto: Holos, 2006. 249 p.

DAAM, M.A., CEREJEIRA, M.J., VAN DEN BRINK, P.J., BROCK, T.C.M., 2011. **Is it possible to extrapolate results of aquatic microcosm and mesocosm experiments with pesticides between climate zones in Europe?** Environ. Sci. Pollut. Res. 18, 123–126

DAMÉ, P.R.V. et al. **Efeitos da queimada seguida de pastoreio ou diferimento sobre o resíduo, temperatura do solo e mesofauna de uma pastagem natural**. Ciência Rural, Santa Maria, v.26, p.391-396, 1996.

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

EVANS, E. W. **Biodiversity, ecosystem functioning, and classical biological control**. Applied Entomology and Zoology, Japan, v. 51, p. 173–184, 2016.

FRAMPTON, G.K., JÄNSCH, S., SCOTT-FORDSMAND, J.J., RÖMBKE, J., VAN DEN BRINK, P.J., 2006. **Effects of pesticides on soil invertebrates in laboratory studies: a review and analysis using species sensitivity distributions**. *Environ. Toxicol. Chem.* 25, 2480–2489.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002, 920 p.

GOMES, A. S. FERREIRA, S. P. “**Análise de Dados Ecológicos**” Apostila, Universidade Federal Fluminense, Instituto de Biologia Centro de Estudos Gerais, Departamento de Biologia Marinha, Niterói-RJ, 2004.

GUEDES FILHO, O.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. **Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage**. *Geoderma*, v.204-205, p.94- 101, 2013.

GULLAN, P.J. et al. **Os insetos: um resumo de entomologia**. 3. ed. São Paulo: Roca, 2008. 440 p.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis 3.14. **Palaeontologia Electronica**, 4(1): 9pp. 2016.

HOORMAN, J. J. **Using Cover Crops to Improve Soil and Water Quality. Agriculture and Natural Resources**. The Ohio State University Extension, Lima, Ohio. 4p, 2009.

KIELING, A.S. et al. **Plantas de cobertura de inverno em sistema plantio direto de hortaliças sem herbicidas: efeitos sobre plantas espontâneas e na produção de tomate**. *Ciência Rural*, v.39, n.7, p.2207-2209, 2009.

KNACKER, T. et al. Ring-testing and field-validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) - an instrument for testing potentially harmful substances: effects of carbendazim on organic matter breakdown and soil fauna feeding activity. **Ecotoxicology**, v.13, p.129-141, 2004.

KORASAKI, V.; MORAIS, J. W.; BRAFA, J. F. **Macrofauna**. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES J. E.; ZANETTI, R.; STÜMER, S. L. O ecossistema solo: Componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Editora UFLA, 2013. p 119-139.

LAVELLE, P. **Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology Internship***, Paris, v. 33, n. 1, p. 3-16, 1996.

LAVORENTI, A.; PRATA, F.; REGITANO, J.B. Comportamento de pesticidas em solos – Fundamentos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, v.III, Viçosa: SBCS, 2003. p.335-400.

LEITÃO, S.; CEREJEIRA, M.J.; VAN DEN BRINK, P. J.; SOUSA, J.P.. **Effects of azoxystrobin, chlorothalonil, and ethoprophos on the reproduction of three terrestrial invertebrates using a natural Mediterranean soil.** *Applied Soil Ecology*, 76:124-131, 2014.

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

LINS, V.; SANTOS, H.; GONÇALVES, M.C.; **The effect of the glyphosate, 2,4-D, atrazine e nicosulfuron herbicides upon the edaphic collembola (Arthropoda: Ellipura) in a no tillage system.** *Neotrop Entomol.* 2007;36:261-7.

LORANGER, G. et al. **Influence of agricultural practices on arthropod communities in a vertisol (Martinique).** *European Journal of Soil Biology*, Jersey, v. 34, n. 3, p. 157-165, 1999.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S.G.; PERIN, A. **Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária.** *Pesq Agropec Bras.* 2011;46:568-76.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S. et al. **Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola.** *R. Bras. Ci. Solo*, 39:1212-1224, 2015.

MCGILL, B. J.; R. S. ETIENNE; J. S. GRAY; D. ALONSO; M. J. ANDERSON; H. K. BENECHA; M. DORNELAS; B. J. ENQUIST; J. L. GREEN; A. H. HURLBERT; A. E. MAGURRAN; P. A. MARQUET; B. A. MAURER; A. OSTLING; C. U. SOYKAN; K. I. Ugland & E. White. 2007. **Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework.** *Ecology Letters* 10: 1–21.

MEYER, J. R. **General entomology, immature insects**. Raleigh: North Caroline State University, 1993. Disponível em: <<http://www.cals.ncsu.edu/course/ent425/library/labs/immatures/index.html>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

MUNIZ, L. C.; MADARI, B. E.; TROVO J. B. de F.; CANTANHÊDE, I. S. de L., MACHADO, P. L. O. de A.; COBUCCI, T.; FRANÇA, A. F. de S.. **Soil biological attributes in pastures of different ages in a croplivestock integrated system**. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1262-1268, out. 2011.

PANACHUKI, 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, n.5, p. 1777–1786, 2011.

PAULI, N.; BARRIOS, E.; CONACHER, A.J.; OBERTHÜR, T. **Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual Slash-and-Mulch Agroforestry System, western Honduras**. *Applied Soil Ecology* v. 47, p. 119–132, 2012

PINHO, R. S. O.; MELO JUNIOR, E. S.; SANTOS, L. A.; FERES, S. J. C.; LIMA JUNIOR, C. A. **Gênero Hypogastrura (Bourlet, 1939) (Hexapoda, Collembola, Poduridae) no litoral norte da ilha São Luiz, Maranhão, Brasil – perspectivas de bioindicador**. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007. Anais... Belo Horizonte, 2007.

PORTILHO, I. I. R.; CREPALDI, R. A.; BORGES, C. D.; SILVA, R. F. da; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; **Fauna invertebrada e atributos físicos e químicos do solo em sistemas de integração lavoura pecuária**. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 46, n. 10, p.1310-1320, 2011.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. 9. ed. São Paulo: Nobel, 1990.

ROSA, M. G. et al. **Macrofauna Edáfica e Atributos Físicos e Químicos em Sistemas de Uso do Solo no Planalto Catarinense**. *R. Bras. Ci. Solo*, 39:1544-1553, 2015

ROSA, M. G. **Macrofauna do solo em diferentes sistemas de uso nas regiões Oeste e Planalto Catarinense**. Dissertação (Mestrado). **Universidade do Estado de Santa Catarina**, Lages, 2013.

ROZA-GOMES, M. F.; BERTOCCHI, D. F.; FILIPPIN, I. L.; BORTOLI, J.; SCARIOT, T.; GOME, P. R. **Levantamento de fauna edáfica em área de reflorestamento com *Eucalyptus grandis***. Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, v. 4, n. 1, p. 107-116, jan./jun. 2013.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R.D. **Zoologia dos Invertebrados**. 6 ed. São Paulo: Ed. Roca. 1996. 1028p.

SANTOS, L. H.; Frações orgânicas e atributos químicos em agregados do solo sob sistemas de plantio direto e convencional de cebola. Dissertação (Mestrado). **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis. 2016.

SAUTER, K. D.; SANTOS, H. R. dos. **Avaliação da estrutura da população da mesofauna edáfica, em diferentes regimes de reabilitação de um solo degradado pela mineração do xisto**. Revista Ciências Agrárias, v. 13, n. 1-2, p. 31-34. 1994.

SEGAT, J.C. Avaliação ecotoxicológica da aplicação de dejetos líquidos de suínos em solos subtropicais. Tese (Doutorado). **Universidade do Estado de Santa Catarina**, Lages, 2016.

SILVA, R.F. da; GUIMARÃES, M. de F.; AQUINO, A.M. de; MERCANTE, F.M. **Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.1277-1283, 2011.

SOUTHWOOD, R. **Ecological methods with particular reference to the study of insect populations**. 1968. 391p.

TROGELLO, E.; TROGELLO, A.G. & SILVEIRA, E.R. **Avaliação da fauna do solo em diferentes sistemas de cultivo, milho orgânico e milho em plantio direto**. R. Bras. Bioci., 6:25-26, 2008.

van SCOY, A.R.; TJEERDEMA, R.S. Environmental fate and toxicology of Chlorothalonil. In: WHITACRE, D.M. (Ed.). **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**. New York: Springer, v. 2323, p.89-1052014.

VELTHORST, E. J. Manual for Chemical Water Analysis. Wageningen: **Agricultural University**. 1993.

VOULVOULIS, N., SCRIMSHAW, M. D., & LESTER, J. N. (2000). **Occurrence of four biocides utilized in antifouling paints, as alternatives to organotin compounds, in waters and sediments of a commercial estuary in the UK.** Marine Bulletin, 40(11), 938–946.

ZEPPELINI FILHO, D.; BELLINI, B. C. **Introdução aos estudos dos collembolas** João Pessoa, Paraíba: Editora Universitária, Universidade Federal da Paraíba. 2004. 82 p.

APÊNDICES

Apêndice 1.1- Variáveis que não apresentam diferenças estatísticas para os tratamentos de FMA e fungicidas clorotalonil (CLT) e clorotalonil mais metalaxil (CLT+M) no solo de plantio direto no ensaio com TMEs.

	Inoculados			Populações nativas		
	Sem fungicida	CLT	CLT+M	Sem fungicida	CLT	CLT+M
Relação parte area: raiz	13,67ns	10,15ns	13,24ns	13,30ns	13,84ns	13,15ns
Fósforo na parte aérea (mg kg ⁻¹)	3637,39ns	3493,88ns	3408,67ns	3574,63ns	3712,38ns	1509,38ns
Fósforo no bulbilho (mg kg ⁻¹)	4605,85ns	4373,19ns	4376,53ns	4634,88ns	4406,37ns	4682,94ns
Colonização por vesículas (%)	23,29ns	21,03ns	20,6ns	23,09ns	21,36ns	22,49ns
Comprimento de micélio extrarradicular total (cm g ⁻¹)	1,43ns	1,93ns	2,42ns	1,92ns	1,68ns	2,01ns
Esporos no solo (nº de esporos em 100 g de solo)	535ns	680 ns	705ns	938ns	747ns	777ns
Fósforo no solo (g kg ⁻¹⁻¹)	0,68ns	0,64ns	0,82ns	0,51ns	0,56ns	0,66ns
DMP 0-10 (mm)	5,12ns	5,02ns	5,12ns	5,18ns	5,03ns	5,21ns
DMG 0-10(mm)	3,90ns	3,77ns	3,89ns	3,84ns	3,70ns	3,95ns
DMG 10-20(mm)	2,05ns	1,68ns	1,93ns	1,65ns	1,63ns	1,68ns

ns = não significativo. n = 6.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Apêndice 1.2- Correlações de Pearson comparando as variáveis explicativas (na linha diagonal) e as variáveis de resposta (na linha horizontal), dos tratamentos com solo de plantio direto do experimento com cebolas em TMEs.

	MSPA ¹ (g)	RELAÇÃO PA:R ²	P. BULBI ³	PAPA ⁴	COL.TOTAL ⁵ (%)	COL. ⁶ (%)	COL. HIFAS ⁷ (%)	COL. ESPOROS ⁸ (%)	ESPOROS (Nº/100 g)
N solo g kg kg ⁻¹ - ¹	0,1313 p=,445	0,1912 p=,264	0,3296* p=,050	0,247 p=,146	-0,1133 p=,511	-0,038 p=,826	-0,1139 p=,508	0,5864* p=,000	-0,2368 p=,164
C solo g kg kg ⁻¹ - ¹	0,1762 p=,304	0,4265* p=,009	0,1007 p=,559	0,2977 p=,078	-0,0723 p=,675	-0,1055 p=,540	-0,0473 p=,784	0,0908 p=,599	-0,3677** p=,027
P solo g kg kg ⁻¹ - ¹	0,369* p=,027	0,1186 p=,491	0,177 p=,302	0,4297* p=,009	0,3201 p=,057	0,5114* p=,001	0,3568* p=,033	-0,1408 p=,413	0,0276 p=,873
DMP 0-10 (mm)	0,1331 p=,439	0,0242 p=,889	0,076 p=,660	0,04 p=,817	-0,4283** p=,009	-0,5903** p=,000	-0,2937 p=,082	0,271 p=,110	0,108 p=,531
DMG 0-10 (mm)	0,1366 p=,427	-0,015 p=,931	0,1026 p=,552	0,0196 p=,910	-0,3714 p=,026	-0,5179 p=,001	-0,1931 p=,259	0,2139 p=,210	0,0652 p=,705
DMP 10-20 (mm)	0,378* p=,023	0,0123 p=,943	-0,065 p=,706	0,3599* p=,031	-0,0108 p=,950	-0,0349 p=,840	0,1394 p=,418	0,1126 p=,513	-0,2936 p=,082
DMG 10-20 (mm)	0,35* p=,036	0,111 p=,519	-0,0528 p=,760	0,3383* p=,044	0,0478 p=,782	0,059 p=,733	0,1903 p=,266	0,0679 p=,694	-0,3054 p=,070

¹Massa seca da parte aérea, ² Relação parte aérea:raiz, ³Fósforo no bulbilho ⁴Fósforo acumulado na parte aérea, ⁵Colonização total, ⁶Colonização arbuscular, ⁷Colonização por hifas, ⁸Colonização por esporos. Correlações de Pearson significativas para $p < 0,05$. *Correlações significativas positivas **Correlações significativas negativas. n = 6.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Apêndice 1.3- Variáveis que não apresentam diferenças estatísticas para os tratamentos de FMA e fungicidas clorotalonil (CLT) e clorotalonil mais metalaxil (CLT+M) no solo de plantio convencional no ensaio com TMEs.

	Inoculados			Populações nativas		
	Sem fungicida	CLT	CLT+M	Sem fungicida	CLT	CLT+M
Massa seca de bulbilho (g)	1,23ns	1,27ns	1,23ns	1,45ns	1,15ns	1,18ns
Fósforo na parte aérea (mg kg ⁻¹)	3592,27ns	3880,98ns	3869,01ns	3625,83ns	4069,86ns	3790,46ns
Fósforo no bulbilho (mg kg ⁻¹)	5028,72ns	4626,96ns	4662,25ns	5159,03ns	5122,79ns	5345,90ns
Fósforo acumulado na parte aérea (mg planta ⁻¹)	16,43ns	24,62ns	21,11ns	19,40ns	25,97ns	27,96ns
Fósforo acumulado no bulbilho (mg planta ⁻¹)	6,29ns	5,511ns	5,66ns	7,682ns	6,09ns	6,28ns
Colonização total (%)	47,19ns	47,33ns	52,68ns	54,71ns	53,70ns	51,22ns
Colonização arbuscular (%)	22,55ns	25,14ns	27,65ns	28,60ns	28,65ns	27,18ns
Colonização por hifas (%)	36,36ns	35,86ns	37,90ns	35,99ns	36,87ns	35,95ns
Colonização por vesículas (%)	3,91ns	5,783ns	6,29ns	10,95ns	7,48ns	7,22ns
Colonização de esporos (%)	6,77ns	12,30ns	10,39ns	6,22ns	7,473ns	6,67ns
Comprimento de micélio extrarradicular total (cm g ⁻¹)	164ns	1520ns	160ns	159ns	255ns	174ns
Esporos no solo (nº de esporos em 100 g de solo)	701,83ns	855ns	801,83ns	839,33ns	1107,66ns	995,66ns
P no solo (g kg kg ⁻¹⁻¹)	0,32ns	0,28ns	0,28ns	0,44ns	0,27ns	0,39ns
DMP 0-10 (mm)	4,69ns	4,89ns	4,89ns	4,76ns	4,72ns	4,87ns
DMG 0-10 (mm)	3,21ns	3,53ns	3,53ns	3,28ns	3,11ns	3,44ns
DMG 10-20 (mm)	1,75ns	1,68ns	2,06ns	2,00ns	1,31ns	1,80ns

n = 6.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.

Apêndice 1.4- Correlações de Pearson comparando as variáveis explicativas (na linha diagonal) e as variáveis de resposta de planta e FMA (na linha horizontal), dos tratamentos de PD do experimento com cebolas em TMEs.

	Colonização arbuscular (%)	Colonização de hifas (%)	Esporos (Nº/100 g)
N solo (g kg kg ⁻¹)	-0,3043ns p=0,071	-0,3106ns p=0,065	-0,1121ns p=0,515
C solo (g kg kg ⁻¹)	-0,5* p=0,002	-0,3365* p=0,045	-0,4131* p=0,012
P solo (g kg kg ⁻¹)	-0,2114ns p=0,216	-0,3962* p=0,017	-0,2493ns p=0,143
DMP 0-10 (mm)	0,1319ns p=0,443	0,3066ns p=0,069	-0,0931ns p=,589
DMG 0-10 (mm)	0,1281ns p=0,457	0,2669ns p=0,116	-0,0779ns p=0,651

*Correlações de Pearson significativas para $p < 0,05$. ns=não significativa. n=6.

Fonte: produção do próprio autor, 2017.