



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

Leonardo Khaoê Giovanetti

**Diversidade de plantas espontâneas e de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio direto com cebola e culturas de cobertura micotróficas e não micotróficas**

Florianópolis

2022

Leonardo Khaoê Giovanetti

**Diversidade de plantas espontâneas e de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio direto com cebola e culturas de cobertura micotróficas e não micotróficas**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Paulo Emílio Lovato, Dr.

Coorientador: Prof. Jucinei José Comin, Dr.

Florianópolis

2022

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

Giovanetti, Leonardo Khaoê

Diversidade de plantas espontâneas e de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio direto com cebola e culturas de cobertura micotróficas e não micotróficas / Leonardo Khaoê Giovanetti ; orientador, Paulo Emílio Lovato, coorientador, Jucinei José Comin, 2022.  
132 p.

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

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Diversidade de plantas espontâneas. 3. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares. 4. Sistema de plantio direto de hortaliças. 5. Culturas de cobertura. I. Lovato, Paulo Emílio. II. Comin, Jucinei José. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. IV. Título.

Leonardo Khaoê Giovanetti

**Diversidade de plantas espontâneas e de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio direto com cebola e culturas de cobertura micotróficas e não micotróficas**

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

Prof. Dr. Cláudio Roberto F. S. Soares  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Microbiologia,  
Imunologia e Parasitologia (MIP)

Profa. Dra. Monique Souza  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Engenharia  
Rural (DER)

Prof. Dr. Henrique V. H. Bittencourt  
Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

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

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato  
Orientador

Florianópolis, 2022

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e por estar sempre ao meu lado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos. Ao programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais (PPGRGV) pelos aprendizados, experiências e oportunidades. À Fundação de Agricultura Sustentável (AGRISUS) pelo financiamento do projeto.

À mulher que mais amo nesta vida e que sempre me apoiou, minha mãe, Maria do Carmo Giovanetti.

Ao orientador Dr. Paulo Emílio Lovato, pelos ensinamentos, dicas, conselhos e correções, além de orientador se tornou um amigo.

Ao coorientador Dr. Jucinei José Comin, que me acompanhou desde o estágio realizado na UFSC em 2019.

Ao Dr. Claudinei Kurtz e a toda a equipe da Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga, sem vocês este trabalho não seria desenvolvido.

Aos ex orientadores da graduação, Dr. Lisandro Tomas da Silva Bonome, Dr. Henrique von Hertwig Bittencourt, Dra. Ceyça Lia Palerosi Borgesque, que se tornaram uma família e me deram força também no mestrado.

À equipe do Centro de Pesquisas Oncológicas (CEPON) de Santa Catarina que me deram força e prestaram essencial atendimento em um momento difícil.

Às colegas que entraram comigo no programa de pós-graduação, Suelen Martinez Guterres e Carolina Marchetti.

Agradecimento especial **a toda** a equipe do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA) e agregados, que me receberam em janeiro de 2019 para o estágio e, posteriormente, para cursar a pós-graduação. Obrigado pelos ensinamentos, conselhos, conversas, cafés. **Amo vocês.**

Um agradecimento excepcional para Maria Gabrielle Carniel, bolsista de iniciação científica da graduação que acompanhou este projeto, amiga, confidente.

A todas as extrações realizadas.

A todos que de alguma maneira contribuíram para chegar até aqui. Com a ajuda de vocês, cresci e amadureci, pessoal e profissionalmente.

Muito obrigado.

*“Educação não transforma o mundo.  
Educação muda as pessoas. Pessoas  
transformam o mundo”*

Paulo Freire

## RESUMO

Este trabalho buscou avaliar como as culturas de cobertura (CC) de caráter micotrófico e não micotrófico afetam as comunidades dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e de plantas espontâneas. O experimento foi realizado na Estação Experimental de Ituporanga da EPAGRI, em área que possui o cultivo da cebola em plantio direto há 13 anos. Os tratamentos utilizados foram: aveia-preta (AV) (*Avena strigosa*), nabo-forrageiro (NF) (*Raphanus sativus*) solteiros, consórcio AV + NF e testemunha (plantas espontâneas) no inverno, seguidos do cultivo de cebola (*Allium cepa*) e da mucuna-preta (*Mucuna aterrima*). As análises ocorreram durante dois anos, em dois estudos, o primeiro avaliou a influência das CC na diversidade e estrutura das plantas espontâneas e o segundo, os efeitos na comunidade de FMA. Amostras de solo foram coletadas na semeadura e no acamamento das CC para contagem de esporos. No fim do ciclo das CC foi avaliada a produção de massa seca, colonização micorrízica das CC e espécies espontâneas dominantes, além do potencial de inóculo do solo. Durante o ciclo da cebola a contagem de esporos, colonização micorrízica da cebola e espécies espontâneas dominantes foram realizadas 39, 85 e 116 dias após transplante (DAT) da cebola. No primeiro ano foi realizado nesses períodos a identificação florística e estrutura fitossociológica da comunidade de plantas espontâneas. A caracterização genética por sequenciamento de nova geração da comunidade de FMA e quantificação de glomalina foi realizada na semeadura e no corte das CC e 116 DAT. Neste período mediram o rendimento e classificação dos bulbos da cebola. Os tratamentos com CC no inverno produziram entre 5,0 e 5,2 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca e diferiram da testemunha. Foram identificadas 20 diferentes espécies de plantas espontâneas pertencentes a 14 famílias. A 85 DAT ocorreram os maiores valores de massa seca das plantas espontâneas e riqueza de espécies. A Análise de Componentes Principais foi eficiente para ordenar a distribuição das espécies de acordo com a produção de massa seca de cada planta espontânea. A cebola produziu entre 30 e 35 Mg ha<sup>-1</sup> com destaque para AV, superior à testemunha, que também produziu bulbos maiores. 80% das plantas espontâneas identificadas eram micotróficas. A trapoeraba (*Commelina benghalensis*) e beldroega (*Portulaca oleraceae*), espécies não micotróficas, só foram encontradas no tratamento NF, mas não foram consideradas dominantes. As CC não afetaram a dominância das plantas espontâneas por seu caráter micotrófico. Os cultivos influenciaram a abundância de propágulos fúngicos do solo, colonização micorrízica das espécies vegetais, teores de glomalina e a diversidade de FMA. Os maiores números de esporos no solo ocorreram nos tratamentos com aveia-preta, em todos os períodos de análise, com exceção da época de corte da mucuna-preta. As maiores taxas de colonização micorrízica da cebola ocorreram durante 39 e 85 DAT e reduziram em 116 DAT, esse comportamento foi observado também nas espécies espontâneas. A presença anual de uma cultura não micotrófica reduziu as frações de glomalina no solo. O sequenciamento genético identificou 75 unidades taxonômicas operacionais com predominância do gênero *Glomus*. A diversidade de FMA foi afetada pelos CC e tempos de coleta, o que indica a ação das plantas cultivadas nesta comunidade.

**Palavras-chave:** *Allium cepa*. Caracterização florística. FMA. Levantamento fitossociológico. SPDH.

## ABSTRACT

This work sought to evaluate how mycotrophic and non-mycotrophic cover crops (CC) affect arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and weed communities. The experiment was carried out in Ituporanga, Southern Brazil, in an area where onions have been cultivated in no-tillage for 13 years. The treatments used were black-oat (BO) (*Avena strigosa*), oilseed-radish (OR) (*Raphanus sativus*) alone, BO + OR consortium, and control (fallow) in winter, followed by onion (*Allium cepa*) in spring and velvet-bean (*Mucuna aterrima*) in summer. The work spanned two years, in two bioassays, the first on the influence of CC on the diversity and structure of weed and the second on the AMF community. Soil samples for spore counting were collected at CC sowing and layering. Dry mass production, CC mycorrhizal colonization, dominant weeds, and soil mycorrhizal fungal inoculum potential were evaluated at the end of the winter CC cycle. During the onion cycle, spore counts, onion root colonization, and dominant weed analyses were performed at 39, 85 and 116 after days transplant (ADT). In the first year, weed community floristic identification and phytosociological structure analysis were performed at the same time. Next-generation sequencing of the AMF community and glomalin quantification was done at CC sowing and rolling and 116 ADT. Winter CC produced between 5.0 and 5.2 Mg ha<sup>-1</sup> of dry mass and differed from the fallow control. Twenty different weed species belonging to 14 families were identified. The highest values of weed biomass and species richness occurred at 85 ADT. Principal Component Analysis was efficient in ordering the distribution of species according to dry mass production of each weed. Onions produced between 30 and 35 Mg ha<sup>-1</sup>, and yield in areas with BO was higher than in the fallow areas, which also produced larger bulbs. 80% of the spontaneous plants identified were mycotrophic. Ragweed (*Commelina benghalensis*) and purslane (*Portulaca oleraceae*), non-mycotrophic species, were found only in areas with OR, but they were not dominant. CC did not affect weed dominance for their mycotrophic trait. Crops affected the abundance of soil fungal propagules, plant root colonization, glomalin, and arbuscular mycorrhizal fungal diversity. The highest soil spore numbers occurred in treatments with black oats in all sampling times, except during velvet bean growth. The highest onion root mycorrhizal colonization rates occurred at 36 and 85 ADT, lowering at 116 ADT, and that behavior was also observed in the weed species. The annual presence of a non-mycotrophic crop reduced soil glomalin. Illumina sequencing identified 75 operational taxonomic units, predominately the genus *Glomus*. AMF diversity was affected by treatments (CC) and sampling time, indicating the effect of crop plants on this community.

**Keywords:** *Allium cepa*. AMF. Floristic characterization. Phytosociological structure. No-tillage system.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Massa seca relativa de cada planta espontânea ( $BS_R$ ) e as plantas consideradas dominantes (quadrado) no estabelecimento a campo (39 DAT) em diferentes tratamentos.....	59
<b>Figura 2.</b> Massa seca relativa de cada planta espontânea ( $BS_R$ ) e as plantas consideradas dominantes (quadrado) na bulbificação (85 DAT) em diferentes tratamentos.....	61
<b>Figura 3.</b> Massa seca relativa de cada planta espontânea ( $MS_R$ ) e as espécies consideradas dominantes (quadrado) na colheita (116 DAT) em diferentes tratamentos.....	62
<b>Figura 4.</b> Análise de componentes principais (PCA) referente a produção de massa seca por diferentes plantas espontâneas durante o cultivo da cebola em SPDH na safra 2020/21 cultivada após diferentes culturas de cobertura (Tratamento) e avaliado em diferentes períodos (tempos).....	64
<b>Figura 5.</b> Número de esporos ( $50\text{ cm}^3$ de solo) em sistema conduzido com diferentes culturas de cobertura de inverno (tratamentos), cebola e mucuna-preta em SPDH, avaliado em diferentes períodos.....	83
<b>Figura 6.</b> Colonização total (A), Vesículas (B) e Arbúsculos (C) em raízes (%) de diferentes culturas de cobertura de inverno e plantas espontâneas no corte das culturas de cobertura em diferentes safras em SPDH.....	85
<b>Figura 7.</b> Colonização total em raízes (%) de cebola em SPDH após o cultivo de distintas culturas de cobertura solteiras ou consorciadas e testemunha em diferentes períodos de análise.....	87
<b>Figura 8.</b> Frequência de ocorrência de vesículas em raízes (%) de cebola em SPDH, em diferentes períodos, após o cultivo de distintas culturas de cobertura solteiras ou consorciadas e testemunha.....	89
<b>Figura 9.</b> Frequência de ocorrência de arbúsculos em raízes (%) de cebola em SPDH, em diferentes períodos, após o cultivo de distintas culturas de cobertura solteiras ou consorciadas e testemunha.....	90

<b>Figura 10.</b> Colonização total em raízes (%) de mucuna-preta antecedida pela cebola, cultivada após diferentes culturas de cobertura.....	91
<b>Figura 11.</b> Glomalina facilmente extraível (GFE) (mg g <sup>-1</sup> solo) em diferentes períodos de análise durante o cultivo da Cebola em SPDH submetido a distintas culturas de cobertura.....	95
<b>Figura 12.</b> Glomalina total (GT) (mg g <sup>-1</sup> solo) em diferentes períodos de análise durante o cultivo da Cebola em SPDH submetido a distintas culturas de cobertura....	97
<b>Figura 13.</b> Árvore filogenética baseada em sequências da região ITS de solo rizosférico do cultivo da Cebola em SPDH submetida a diferentes culturas de cobertura e períodos de avaliação. Clados baseados em alinhamentos de domínios (>97%).....	100
<b>Figura 14.</b> Distribuição (%) geral da comunidade de FMA avaliada em SPDH de Cebola com diferentes culturas de cobertura de inverno e análises temporais em Classe (A), Ordem (B), Família (C) e Gênero (D).....	103
<b>Figura 15.</b> Abundância relativa (1,0 = 100%) dos gêneros de FMA identificados do solo rizosférico em sistema de SPDH da cebola submetida a diferentes culturas de cobertura e testemunha (tratamentos) em distintos tempos (em dias após transplante (DAT)).....	104
<b>Figura 16.</b> Análise de coordenadas principais (PCoA) baseada na distância de Bray-Curtis para a comunidade de FMA presente em SPDH de cebola com diferentes culturas de cobertura e tempos (dias após transplante (DAT) da cebola).....	106

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos do solo (0-10 cm) na safra 2020/21 em experimento com cebola precedida de culturas de cobertura ou plantas espontâneas.....	44
<b>Tabela 2.</b> Culturas de cobertura de inverno, densidade de sementes e caráter micotrófico das plantas antecedendo o cultivo da cebola em plantio direto.....	45
<b>Tabela 3.</b> Coletas de campo realizadas, dias após transplante (DAT) da cebola no ano safra 2020/21 (estudo 1).....	45
<b>Tabela 4.</b> Características utilizadas para levantamento fitossociológico das espécies espontâneas em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo o cultivo da cebola em plantio direto.....	47
<b>Tabela 5.</b> Classificação dos bulbos de <i>Allium cepa</i> L. (portaria 529/1995).....	48
<b>Tabela 6.</b> Produção de massa seca das culturas de cobertura de inverno em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo o cultivo da cebola em SPDH.....	50
<b>Tabela 7.</b> Caracterização florística das plantas espontâneas durante o ciclo da cebola 39, 85 e 116 dias após transplante (DAT) das mudas de cebola em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo a hortaliça em SPDH.....	52
<b>Tabela 8.</b> Caráter micotrófico das plantas espontâneas identificadas em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo o cultivo da cebola em SPDH.....	56
<b>Tabela 9.</b> Massa seca total das plantas espontâneas ( $MS_A$ ), micotróficas ( $MS_{AM}$ ) e não micotróficas ( $MS_{ANM}$ ), Riqueza ( $R_i$ ) e índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ).....	57
<b>Tabela 10.</b> Produtividade e classificação da cebola (cv. Bola Precoce) cultivada em experimento de SPDH após o acamamento de diferentes culturas de cobertura de inverno na safra 2020/21.....	67
<b>Tabela 11.</b> Atributos químicos do solo (0-10 cm) na safra 2021/22 em experimento com cebola precedida de culturas de cobertura ou plantas espontâneas.....	74
<b>Tabela 12.</b> Coletas de campo realizadas no ano safra 2020/21 e 2021/22, dias após transplante (DAT) da cebola em cada safra.....	75

**Tabela 13.** Taxa de colonização micorrízica radicular (%) (total, vesículas e arbúsculos) das plantas espontâneas dominantes durante o ciclo da cebola em SPDH antecedida por diferentes culturas de cobertura na safra 2020/21 em diferentes períodos.....92

**Tabela 14.** Número mais provável (NMP) de propágulos em solo advindo de inóculo com diferentes culturas de cobertura cultivado com braquiária (*Urochloa decumbens*).....98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CCA – Centro de Ciências Agrárias
- CICG – Coleção Internacional de Culturas de Glomeromycota
- cv – Cultivar
- DBC – Delineamento em blocos completos casualizados
- DNA – Ácido desoxirribonucleico
- DR<sub>M</sub> – Dominância relativa ecológica
- ENR – Departamento de Engenharia Rural
- EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
- FMA – Fungos micorrízicos arbusculares
- FURB – Fundação Universidade Regional de Blumenau
- H' – Índice de Shannon-Wiener
- ha – Hectare
- Mg – Mega grama
- MS<sub>A</sub> – Massa seca absoluta
- MS<sub>AM</sub> – Massa seca absoluta de plantas micotróficas
- MS<sub>ANM</sub> – Massa seca absoluta de plantas não micotróficas
- MS<sub>R</sub> – Massa seca relativa
- NEPEA – Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia
- NMP – Número mais provável
- NGS – Sequenciamento de nova geração
- PCR – Reação em Cadeia da Polimerase
- PVLG – Polivinil-lactoglicerol
- Qtd – Quantidade
- SPC – Sistema de preparo convencional
- SPD – Sistema de plantio direto
- SPDH – Sistema de plantio direto de hortaliças
- TAE – Tris-Acetato-EDTA
- TSBF – Tropical Soil Biology and Fertility
- UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

## APRESENTAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido junto ao Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-UFSC) do Departamento de Engenharia Rural (ENR), no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que desenvolve ensino, pesquisa e extensão com ênfase no Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) como estratégia de transição da agricultura convencional para a de base agroecológica, desde 2005.

Os ensaios foram executados em experimento de longo prazo implantado na Estação Experimental de Ituporanga da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), localizada no município de Ituporanga, SC, na região do Alto Vale do Itajaí, que desde 2009 vem sendo cultivado com cebola (*Allium cepa* L.) em SPDH.

No mesmo experimento, até a presente data desta dissertação, foram desenvolvidas dez dissertações e uma tese e estão em andamento duas teses, como segue em ordem cronológica:

Concluídos:

1) VILANOVA, C. C. **Sistema de plantio direto de cebola: contribuições das plantas de cobertura no manejo ecológico de plantas espontâneas.** 2011. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

2) VARGAS, M. M. M. **Atributos químicos e biológicos do solo e rendimento da cebola em sistema de plantio direto após cultivo com diferentes plantas de cobertura de inverno.** 2012. 49 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

3) SOUZA, M. **Produção de cebola e dinâmica de emergência de plantas espontâneas sob plantas de cobertura em sistema plantio direto.** 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

4) CAMARGO, A. P. **Aplicação de compostos polifenólicos de *Canavalia ensiformis* (L.) e *Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) na germinação e na**

**emergência de plantas espontâneas**. 2013. 119 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

5) MARTINS, R. P. **Decomposição e Mineralização de Nutrientes de Resíduos de Plantas de Cobertura em Solo Cultivado com Cebola (*Allium cepa* L.)**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

6) OLIVEIRA, R. A. **Decomposição de plantas de cobertura e efeito no rendimento da cebola e na biodisponibilidade de fósforo em sistema de plantio direto**. 2015. 101 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

7) SANTOS, L. H. **Frações orgânicas e atributos químicos em agregados do solo sob sistemas de plantio direto e convencional de cebola**. 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

8) KOUCHER, L. P. **Contribuição do nitrogênio de resíduos de plantas de cobertura para a cebola cultivada em sistema de plantio direto agroecológico**. 2016. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

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

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

11) BARBOSA, T. M. **Atributos químicos e frações da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo sob cultivo de cebola (*Allium cepa* L.)**. 2018. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistema) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

Em andamento:

1) BORTOLINI, J. G. **Plantas de cobertura: influência nos atributos físicos, químicos e biológicos em solo sob sistemas de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.)**.

2017- Atual. Tese em andamento (Doutoranda em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina.

2) VENTURA, B. S. Dinâmica da comunidade micorrízica arbuscular e fosfatase ácida em solos com plantas micorrízicas e não micorrízicas. 2017- Atual. Tese em andamento (Doutoranda em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Esta dissertação foi desenvolvida com auxílio financeiro da Fundação de Agricultura Sustentável (AGRISUS) por meio do projeto de pesquisa agronômica “Micorrizas no Sistema de Plantio Direto de Hortaliças” n. 2892/20 e contou com a bolsa de estudo de pesquisa vinculada a iniciação científica n. 3133/21 e, também, do Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais (PPGRGV) da Universidade Federal de Santa Catarina. Assim como a bolsa institucional (modalidade GM) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processo n. 131586/2020-3.

O trabalho se encontra dividido em dois estudos que foram conduzidos concomitantemente. O primeiro buscou compreender como diferentes plantas de cobertura que formam ou não micorrizas, cultivadas solteiras ou consorciadas, interferem na diversidade de plantas espontâneas e na estrutura destas comunidades, assim como, no rendimento e classificação da cebola em SPDH. O segundo estudo, buscou entender como as culturas de cobertura afetam a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares, por meio da caracterização genética dos FMA e da produção de propágulos fúngicos, colonização micorrízica radicular e síntese das frações de glomalina.



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>19</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>22</b>
2.1	O CULTIVO DA CEBOLA EM SPDH E A IMPORTÂNCIA DAS CULTURAS DE COBERTURA PARA O SISTEMA.....	22
2.1.1	<b>Plantas espontâneas no cultivo da Cebola (<i>Allium cepa</i> L.) em SPDH.....</b>	<b>25</b>
2.2	FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA) E EFEITOS NO AGROECOSSISTEMA, NA COMUNIDADE VEGETAL E RENDIMENTO DOS CULTIVOS .....	28
2.2.1	<b>Influência de cultivos agrícolas na diversidade de FMA e uso de técnicas moleculares para a caracterização genética .....</b>	<b>30</b>
2.2.2	<b>Interações de culturas de cobertura com a comunidade de FMA e plantas espontâneas.....</b>	<b>33</b>
<b>3.</b>	<b>HIPÓTESES .....</b>	<b>36</b>
<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	Objetivo Geral.....	37
4.2	Objetivos específicos.....	37
<b>5.</b>	<b>ESTUDO 1: CARACTERIZAÇÃO FLORÍSTICA E LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO DE PLANTAS ESPONTANEAS NO CULTIVO DA CEBOLA PRECEDIDA POR CULTURA DE COBERTURA MICOTRÓFICA E NÃO MICOTRÓFICA, RENDIMENTO E CLASSIFICAÇÃO DOS BULBOS.....</b>	<b>38</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>38</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>39</b>
5.1	INTRODUÇÃO .....	40
5.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	42
5.2.1	<b>Localização do experimento, histórico da área e práticas fitossanitárias .....</b>	<b>42</b>
5.2.2	<b>Delineamento experimental.....</b>	<b>44</b>

5.2.3	Massa seca da parte aérea das culturas de cobertura de inverno.....	46
5.2.4	Caracterização florística da comunidade de plantas espontâneas e relação micotrófica .....	46
5.2.5	Levantamento fitossociológico da comunidade de plantas espontâneas .....	47
5.2.6	Classificação e rendimento da cebola.....	48
5.2.7	Análises estatísticas .....	48
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.3.1	Massa seca das culturas de cobertura.....	49
5.3.2	Caracterização florística da comunidade de plantas espontâneas e relação micotrófica .....	51
5.3.3	Levantamento fitossociológico da comunidade de plantas espontâneas .....	57
5.3.4	Classificação e rendimento da cebola.....	65
5.4	CONCLUSÕES .....	69
6.	<b>ESTUDO 2: NÚMERO DE PROPÁGULOS E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM SUCESSÃO DE CEBOLA E CULTURAS DE COBERTURA MICOTRÓFICAS E NÃO MICOTRÓFICAS.....</b>	<b>70</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>70</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>71</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	72
6.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	74
6.2.1	Localização do experimento, histórico da área e práticas fitossanitárias .....	74
6.2.2	Delineamento experimental.....	74
6.2.3	Coleta e contagem de esporos.....	76
6.2.4	Colonização micorrízica .....	77

<b>6.2.5</b>	<b>Glomalina facilmente extraível (GTE) e total (GT) do solo.....</b>	<b>78</b>
<b>6.2.6</b>	<b>Potencial de inóculo do solo .....</b>	<b>78</b>
<b>6.2.7</b>	<b>Caracterização genética da comunidade de FMA por sequenciamento de nova geração (NGS).....</b>	<b>79</b>
<b>6.2.8</b>	<b>Análises estatísticas .....</b>	<b>81</b>
<b>6.3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>82</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Coleta e contagem de esporos.....</b>	<b>82</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Colonização micorrízica das culturas de cobertura de inverno.....</b>	<b>84</b>
<b>6.3.3</b>	<b>Colonização micorrízica da cebola .....</b>	<b>86</b>
<b>6.3.4</b>	<b>Colonização micorrízica da mucuna-preta (planta de cobertura de verão).....</b>	<b>91</b>
<b>6.3.5</b>	<b>Colonização micorrízica das plantas espontâneas dominantes .....</b>	<b>92</b>
<b>6.3.6</b>	<b>Glomalina facilmente extraível (GFE) e total (GT) do solo.....</b>	<b>94</b>
<b>6.3.7</b>	<b>Potencial de inóculo do solo .....</b>	<b>98</b>
<b>6.3.8</b>	<b>Caracterização genética da comunidade de FMA por sequenciamento de nova geração (NGS).....</b>	<b>99</b>
<b>6.4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>107</b>
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>108</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL E JUSTIFICATIVA

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das três hortaliças mais produzidas no país, com destaque ao estado de Santa Catarina, principal produtor nacional (PUIATTI, 2019). Na safra 2020/21 o estado foi responsável pela produção de 362 mil Mg, volume menor que o esperado em virtude das condições climáticas (GIEHL *et al.*, 2021a). Para a safra 2021/22 foram implantadas 17.467 ha, com produtividade média de 28 Mg ha<sup>-1</sup> e produção total de 496 mil Mg (GIEHL *et al.*, 2022).

A região sul é responsável por 58% e 44% da área plantada e da produção nacional da cebola, respectivamente (IBGE, 2022). Mais de 18 mil famílias tem o cultivo desta hortaliça como principal fonte de renda (EPAGRI, 2019) e 44% das famílias são catarinenses (BOEING, 2002; EPAGRI, 2020). O rendimento da cultura cresceu 16% nos últimos seis anos por conta da adoção de novas práticas, desenvolvimento de novas variedades e participação da agricultura familiar (ALVES *et al.*, 2017), que é responsável por um terço de toda a produção de bulbos (EPAGRI, 2019).

Esta cultura é conduzida predominantemente em sistema de preparo convencional (SPC) que envolve o uso intensivo de fertilizantes solúveis, agrotóxicos, aração e gradagens (JÚNIOR; GONÇALVES; MARCUZZO, 2018). Este sistema modifica os atributos físicos, ao prejudicar a estrutura e porosidade do solo (LOSS *et al.*, 2015) e reduzir a infiltração da água (ALCÂNTARA; MADEIRA, 2008). Altera as características químicas, pela redução da matéria orgânica e limitada ciclagem de nutrientes (MELO *et al.*, 2016) e biológicos, ao diminuir a diversidade biológica (VALARINI *et al.*, 2011) e a atividade enzimática do solo (MENDES *et al.*, 2003).

Em contrapartida, no estado de Santa Catarina, três mil hectares são conduzidos no sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) distribuídos em mais de mil propriedades catarinenses, majoritariamente de agricultores familiares (EPAGRI, 2020). A adoção do SPDH é uma estratégia importante para a promoção da recuperação dos atributos do solo (VEZZANI *et al.*, 2019), principalmente pela melhoria na estrutura do solo (LOSS *et al.*, 2017), redução de erosão (FAYAD *et al.*, 2018), intensificação da atividade biológica (FILHO *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2020), incremento e manutenção do teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes

(SOUZA *et al.*, 2014). Esse sistema promove, ainda, a melhoria da qualidade ambiental e social (MADEIRA, 2009) e do rendimento de hortaliças (LIMA *et al.*, 2017), como a cebola (SOUZA *et al.*, 2021).

O SPDH segue os princípios de base ecológica com adoção das seguintes premissas: cobertura permanente do solo (FAYAD; COMIN; BERTOL, 2016), uso planejado de rotação de culturas e mobilização restrita às linhas de plantio, parcelamento das adubações, entre outras práticas de manejo, ao invés do uso de herbicidas para o controle das plantas espontâneas (MAFRA *et al.*, 2019).

O manejo desta comunidade de plantas, no SPDH, ainda é considerado um desafio (GOMES; CHRISTOFFOLETI, 2008), inclusive na cebola que pode ter 91% do peso médio dos bulbos comercializáveis reduzido pela competição com estas plantas (SOARES *et al.*, 2003). Este cultivo possui arquitetura simplificada e baixo índice de área foliar, o que favorece a emergência de plantas espontâneas (EPAGRI, 2000; ROWE, 2006). No SPC o controle de plantas espontâneas é realizado por meio do uso de herbicidas (TEASDALE; MOHLER, 2000), que além de afetar a emergência destas espécies também diminui a atividade microbiana da área (CORREIA, 2018) pela redução das populações de bactérias e fungos (SEBIOMO; OGUNDERO; BANKOLE, 2011) e da biomassa microbiana (SANTOS *et al.*, 2005). Além do mais, a ação benéfica de determinadas comunidades fúngicas, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pode ser prejudicada (VENTURA *et al.*, 2021).

O controle de plantas espontâneas no SPDH pode ocorrer por meio da liberação de compostos químicos (SOUZA *et al.*, 2018), barreira física (VILANOVA *et al.*, 2014) e interações biológicas (SOUZA *et al.*, 2020). Este último item inclui as micorrizas, associação simbiótica entre plantas micotróficas e os FMA (HARAMOTO; GALLANDT, 2004; VEIGA *et al.*, 2011). Esses microrganismos possuem presença generalizada nos agroecossistemas brasileiros e se associam a 80% das famílias vegetais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A comunidade de FMA é influenciada pelos manejos realizados na condução do sistema (FERREIRA; CARNEIRO; JUNIOR, 2012). Em sistema de plantio direto as culturas utilizadas no sistema de rotação, assim como, os cultivos comerciais são os principais fatores que determinam a diversidade e distribuição destes fungos (MIRANDA; MIRANDA, 2007b), principalmente pelo caráter micotrófico das espécies

utilizadas, ou seja, plantas que formam simbiose com os FMA (CARRENHO; TRUFEM; BONONI, 2002). Esses fungos podem afetar as relações interespecíficas entre as espécies vegetais, pela comunicação e competição por nutrientes por meio das redes micorrízicas (O'CONNOR *et al.*, 2002) e, ainda favorecer ou diminuir sua multiplicação de acordo com as espécies vegetais presentes. Em SPDH, essa interação é ainda mais frequente pelo uso da rotação ou sucessão planejada contínua das espécies (VENTURA *et al.*, 2021).

Na região sul do Brasil, a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), micotrófica (GOMIDE *et al.*, 2009) e o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), não micotrófico (MIRANDA *et al.*, 2001) são culturas de cobertura com ampla utilização, pela capacidade de suprimir plantas espontâneas (SARTORI *et al.*, 2011) e ciclagem de nutrientes (CRUSCIOL *et al.*, 2005). Entretanto, o caráter micotrófico destas culturas podem interferir também na comunidade de FMA do sistema.

Diante disso, levanta-se a hipótese de que a regulação da estrutura vegetal está relacionada à característica micotrófica das espécies cultivadas (HEIJDEN *et al.*, 1998; JORDAN; HUERD, 2008; MADEIRA *et al.*, 2019), com possível interferência na comunidade de plantas espontâneas (JORDAN; ZHANG; HUERD, 2000) e no rendimento dos cultivos comerciais (MIRANDA; MIRANDA, 2007a). Ainda, o uso de determinadas culturas de cobertura pode ter interferência direta na estrutura e distribuição da comunidade de FMA (BORTOLINI *et al.*, 2021; VENTURA *et al.*, 2021). Entretanto, estudos desta natureza são escassos no Brasil, principalmente em agroecossistemas e, com o uso de avaliações sequenciais ao longo do ciclo de diferentes cultivos (CARRENHO *et al.*, 2010), o que permite identificar a variação da organização biológica e ecológica do sistema (GASPAROTTO *et al.*, 2010).

Esta pesquisa buscou avaliar como as culturas de cobertura de caráter micotrófico (*Avena strigosa* Schreb.) e não micotrófico (*Raphanus sativus* L.), solteiras e consorciadas, afetam a estrutura qualitativa e quantitativa da comunidade de plantas espontâneas e de FMA, bem como o rendimento e classificação da cebola em sistema de plantio direto de hortaliças, a campo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O CULTIVO DA CEBOLA EM SPDH E A IMPORTÂNCIA DAS CULTURAS DE COBERTURA PARA O SISTEMA

A cultura da cebola (*Allium cepa* L.) remonta aos primórdios da agricultura cultivada e foi domesticada na região da Ásia Central (BREWSTER, 2008). É uma planta herbácea da família Amaryllidaceae, com bulbo tunicado e grande interesse comercial (COSTA; RESENDE, 2007).

A espécie está entre as três hortaliças nacionais com maior volume de produção e área cultivada (PUIATTI, 2019). Foi introduzida no estado de Santa Catarina (SC) a partir dos anos de 1930 (BARBIERI; MEDEIROS, 2007). Atualmente, o estado apresenta mais de um terço da área e produção total do país com destaque a região do Alto Vale do Itajaí, nas microrregiões de Ituporanga e Rio do Sul (EPAGRI, 2020). Entre os anos 2000 e 2019 foram produzidas, em média, no estado 31.669 Mg ano<sup>-1</sup> em 20.995 hectares (IBGE, 2022), o que evidencia sua importância na agricultura para SC.

A cultura ainda é manejada, principalmente, sob sistema de preparo convencional (SPC) e depende do uso intensivo de fertilizantes, agroquímicos e revolvimento do solo. Isso causa degradações nos atributos físicos e químicos do solo, assim como, perdas produtivas e da comunidade biológica nas principais regiões produtoras do estado (FAYAD *et al.*, 2018). Diante disso, a continuidade do sistema deve prezar por técnicas sustentáveis que permitam a conservação do ambiente e menores perdas de solo (SOUZA; MADEIRA; FIGUEIREDO, 2014).

O sistema de plantio direto (SPD) pode ser considerado uma tecnologia expressiva para a sustentabilidade da produção agrícola (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998). Sua aplicação a hortaliças, em uma visão sistêmica e holística do agroecossistema, constitui o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) que busca diminuir a perda de solo, água e nutrientes ao prezar pela saúde da planta e dos agricultores. Fundamentada em conceitos ecológicos de produção, busca a eliminação gradativa do uso de produtos químicos e aumento do rendimento dos cultivos, aliado ao equilíbrio do ambiente (FAYAD *et al.*, 2018). Atualmente, o sistema

é utilizado em 1,2 mil propriedades catarinenses e se apresenta em constante crescimento (EPAGRI, 2020). A relevância deste sistema foi observada por Nicholls *et al.* (2019) como modo de transição entre o modelo convencional e um sistema de produção sustentável, que abrange aspectos sociais, econômicos, produtivos e ambientais na agricultura familiar.

O SPDH trabalha sob três características principais: revolvimento localizado do solo, rotação de culturas planejada (MEDEIROS; CALEGARI; GAUDÊNCIO, 1994; GONÇALVES *et al.*, 2006) e o uso de culturas de cobertura (BORKERT *et al.*, 2003).

O uso de plantas de cobertura é uma técnica promissora para sistemas de base ecológica, como o SPDH. Possui baixo custo e promove a melhoria das características físicas do solo ao diminuir a erosão, melhorar o desenvolvimento de raízes e a infiltração e retenção de água no solo (PRANDO *et al.*, 2010; CUNHA *et al.*, 2011). Em relação às propriedades químicas do solo, há o aumento nos teores de matéria orgânica, disponibilidade e ciclagem de nutrientes (PAVINATO; ROSOLEM, 2008; PACHECO *et al.*, 2011). Ademais, influencia diretamente também os atributos biológicos do sistema, especialmente a diversidade de organismos (FERREIRA; STONE; MARTIN-DIDONET, 2017), promoção da proliferação de insetos benéficos, quebra do ciclo de insetos que se tornam pragas, patógenos e plantas espontâneas (ALTIERI *et al.*, 2011; REDIN *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2017), o que resulta em maior atividade biológica (FAYAD *et al.*, 2018).

O solo é um ambiente complexo que possui bilhões de organismos, os quais se relacionam entre si constantemente e são imprescindíveis para a manutenção do sistema (ANDREOTE; CARDOSO, 2016). Entre os organismos do solo, se destacam microrganismos como bactérias e fungos, que compreendem a maior densidade de organismos vivos e consequente ação biológica no sistema (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esta biota atua em diferentes processos de interesse agrônomo, como a ciclagem de nutrientes, agregação do solo e interação entre os organismos presentes (ANDREOLA; FERNANDES, 2007).

Dentre os microrganismos do solo, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) se destacam pelos benefícios que proporcionam ao sistema, como o aumento da área de absorção radicular, ao estabelecer micorrizas, além da resistência da espécie vegetal a estresses bióticos e abióticos, capacidade de sobrevivência vegetal e



comunicação entre os organismos (COSTA *et al.*, 2013). Estes organismos também podem influenciar a estrutura da comunidade vegetal, como plantas espontâneas e promover a sustentabilidade em sistemas de base ecológica (BERUDE *et al.*, 2015), o que chama a atenção para os benefícios dessa associação em SPDH.

A estrutura da comunidade destes microrganismos e os benefícios que proporcionam são dependentes do sistema empregado (SILVA *et al.*, 2015) e práticas de manejo, com destaque as culturas de cobertura utilizadas (SOUZA *et al.*, 2014; LOSS *et al.*, 2019). Assim, é importante selecionar as espécies para compor o sistema de rotação e cobertura do solo em vista das possíveis interações com a comunidade ecológica do solo (CALEGARI; COSTA, 1993) e das espécies vegetais, como FMA (TRUBER *et al.*, 2009; GRMAN, 2012) e plantas espontâneas (LIMA *et al.*, 2017), respectivamente.

Entre as espécies de cobertura mais utilizadas no sul do país, se destacam a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), Poaceae, e o nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.), Brassicaceae. A primeira apresenta crescimento inicial rápido, rusticidade, decomposição lenta, boa capacidade de suprimir as plantas espontâneas (SARTORI *et al.*, 2011) e produção de até oito Mg de matéria seca por hectare em condições de SPDH (SOUZA *et al.*, 2013), além de ser uma cultura micotrófica, ou seja, que forma micorrizas com FMA presentes no sistema (GOMIDE *et al.*, 2009). O nabo-forageiro por sua vez é rústico, possui potencial descompactador do solo, ciclo de vida curto, capacidade de ciclagem de nutrientes e de tolerar baixas temperaturas (CRUSCIOL *et al.*, 2005) e chega a produzir 4,6 Mg de matéria seca por hectare em SPDH (VILANOVA *et al.*, 2014). No entanto, não possui caráter micotrófico e assim, não se associa aos FMA (MIRANDA *et al.*, 2001).

No SPDH o manejo eficiente de plantas espontâneas ainda precisa ser melhor explorado, visto as diferentes formas de ação advindas do uso das premissas supracitadas deste sistema (SOUZA *et al.*, 2017). Na cebola essa comunidade pode ocasionar perdas de toda a produção de bulbos aptos a comercialização (BOND; BURSTON, 1996). Assim, o manejo dessas espécies em sistemas sustentáveis deve reunir métodos integrados (GOMES; CHRISTOFFOLETI, 2008; FAYAD; COMIN; BERTOL, 2016), como a potencialização das relações ecológicas entre as

comunidades vegetais e microbiológicas da área (BATISTA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2020).

### **2.1.1 Plantas espontâneas no cultivo da Cebola (*Allium cepa* L.) em SPDH**

Os termos plantas invasoras, plantas indicadoras, ervas daninhas, mato, inço e plantas espontâneas são empregados na literatura agrônômica e botânica brasileira para se referir a espécies não desejadas no agroecossistema. Isso gera conflitos e, portanto, é necessária uma definição adequada já que, a princípio, nenhuma pode ser considerada errônea. Para Pereira e Melo (2008) esses termos se referem a toda e qualquer espécie vegetal que se estabeleça e se desenvolva onde não é desejada, e prejudique os cultivos comerciais de alguma forma. Na agroecologia, o termo “plantas daninhas” não se adequa pela característica prejudicial da expressão, já que estas espécies também indicam características do sistema e realizam outras funções ecológicas (PRIMAVESI, 2017). Neste trabalho, será adotado o termo “planta espontânea”, visto que esses organismos surgem de maneira espontânea por já estarem no agroecossistema no banco de sementes ou por serem trazidos a área pela ação antrópica.

Uma planta espontânea não difere de uma planta cultivada do ponto de vista morfológico e fisiológico, pois ambas se dispersam por propágulos ou sementes, crescem, florescem, frutificam, produzem descendentes e morrem (FONTES *et al.*, 2003). Entretanto, as plantas espontâneas podem causar prejuízo pela sua capacidade de germinar em condições inóspitas, dormência, longevidade dos propágulos, crescimento vigoroso, produção contínua e numerosa de sementes, além de adaptações físicas e estruturais para a sua propagação no tempo e no espaço, o que facilita a competição com as espécies cultivadas (VASCONCELOS; SILVA; LIMA, 2012). Tais características dificultam o manejo, que no sistema convencional se baseia no uso intensivo de herbicidas (PITELLI, 1987). Assim, estudos relacionados as características biológicas das plantas espontâneas e relações ecológicas dentro do agroecossistema são pertinentes para encontrar estratégias adequadas e viáveis de manejo (BROWMIK, 1997).

A cebola possui crescimento inicial lento, baixa capacidade de sombreamento e restrito sistema radicular, que é concentrado na camada superficial do solo (LARA; OLDONI; MACHADO, 2015), isso facilita o estabelecimento e crescimento de espécies espontâneas (SOARES *et al.*, 2003). Em SPDH, uma das formas de manejar essas plantas indesejáveis ocorre pelo uso de plantas de cobertura e rotação de cultivos (CORREIA, 2018).

A biomassa produzida pelas plantas de cobertura e depositadas sobre o solo dificultam a germinação das sementes pela promoção de barreira física para o crescimento das plantas, com diminuição da incidência de raios solares, essencial para a germinação de espécies fotoblásticas positivas (KIELING *et al.*, 2009; COMIN *et al.*, 2018) ou pela liberação de compostos químicos (LABBAFY *et al.*, 2009; HAGEMANN *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2018). Entretanto, a decomposição da biomassa também pode afetar a estrutura da comunidade dos microrganismos presente no sistema (PITELLI, 1997; LOSS *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2020), o que provavelmente tem consequências no manejo das espécies espontâneas.

Em trabalho conduzido por Reginatto *et al.* (2018) para avaliar a influência de exsudatos radiculares de aveia-preta e nabo-forrageiro sobre plantas espontâneas, os autores observaram que a aveia-preta e o nabo-forrageiro inibiram o crescimento do caruru (*Amaranthus spinosus* L.). Em ensaio para avaliar o potencial do extrato aquoso de *A. strigosa* e *R. sativus*, Reginatto *et al.* (2020) observaram decréscimo do crescimento de *A. spinosus* L. e de corda de viola (*Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donnell) com o aumento da concentração do extrato. A campo, Altieri *et al.* (2011) concluíram que o consórcio de ervilhaca-comum (*Vicia sativa* L.), aveia-preta, azevém (*Lolium multiflorum*), centeio (*Secale cereale*) e nabo-forrageiro promoveram diminuição na incidência de plantas espontâneas em cultivos anuais de verão.

Em hortaliças, no cultivo do tomate em SPDH, Kieling *et al.* (2009) constataram que aveia-preta solteira ou em consorcio com nabo-forrageiro reduziram em 28 e 38%, respectivamente, a produção de matéria seca de espontâneas no fim de cultivo da hortaliça. Em estudo realizado em casa de vegetação com solos de áreas de cultivo de cebola conduzido em SPDH, com resíduos de diferentes plantas de cobertura de inverno, Souza *et al.* (2018) verificaram que a maior supressão na

emergência de plantas espontâneas ocorreu sob resíduos de aveia-preta, centeio e cevada (*Hordeum vulgare*), principalmente nas primeiras sete semanas.

Em experimento de campo a longo prazo, Comin *et al.* (2018) constataram que a cobertura do solo com plantas de inverno é uma estratégia viável de manejo de plantas espontâneas no cultivo de *A. cepa* L. em SPDH, com destaque ao cultivo de centeio e nabo-forrageiro solteiros e o consórcio entre nabo-forrageiro + centeio e nabo-forrageiro + aveia-preta, que reduziram em 75, 83 e 75% a produção de matéria seca das plantas espontâneas 60 dias após plantio da cebola, respectivamente. Diante disso, o uso de culturas de cobertura no manejo de plantas espontâneas se mostra relevante, seja pela barreira física imposta pela biomassa ou liberação de compostos químicos no solo. No entanto, tal comportamento pode também estar relacionado com características biológicas do solo, como exemplo aquelas associadas aos FMA (VATOTEC; JORDAN; HUERD, 2005).

A dinâmica entre FMA e plantas espontâneas ainda é pouco compreendida (HARAMOTO; GALLANDT, 2004; TRINCHERA *et al.*, 2019). Assim, estudos que busquem o levantamento de plantas espontâneas e da comunidade micorrízica em todo ciclo de cultivo são importantes para entender a composição e dinâmica da população vegetal e microbiológica da área e, como estas se comportam ao serem submetidas a diferentes manejos (VOLL *et al.*, 2001).

Diante da necessidade do manejo sustentável dessas espécies competitivas, compreender a relação entre FMA e plantas espontâneas pode fundamentar novas estratégias de manejo. É necessário integrar o conhecimento das interações bióticas benéficas, principalmente entre raízes e microrganismos, para determinar as relações entre a diversidade do solo e de plantas e das interferências na condução de sistemas sustentáveis (LEMANCEAU *et al.*, 2014), assim como, compreender como tais relações afetam o rendimento dos cultivos (JORDAN; ZHANG; HUERD, 2000).

## 2.2 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA) E EFEITOS NO AGROECOSSISTEMA, NA COMUNIDADE VEGETAL E RENDIMENTO DOS CULTIVOS

A microbiota edáfica apresenta indicações sobre a situação e qualidade do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e pode afetar a estrutura da comunidade vegetal do agroecossistema (HEIJDEN *et al.*, 1998). Entre os organismos do solo, alguns fungos formam micorrizas, associações mutualísticas com as raízes das plantas. Tal associação permitiu a colonização de ambientes terrestres pelos vegetais, mas só foi estudada cientificamente a partir do século XIX, depois que se criou o termo “mycorrhiza”, originada do grego (*myco*=fungo e *rhiza*=raízes) (KOIDE; MOSSE, 2004).

As micorrizas podem ser dos tipos arbutóides, ectendomicorrizas, ectomicorrizas, ericóides, monotropóides, orquidóides e arbusculares (SMITH; READ, 2008). Pela característica abundante e generalista nas condições tropicais e subtropicais, os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) serão o foco do presente estudo.

Os FMA, pertencentes ao filo Glomeromycota, são simbioses obrigatórios, se desenvolvem apenas em associação com raízes de plantas micotróficas (VEIGA *et al.*, 2011). Esses simbioses obrigatórios, comuns no solo, são capazes de se associar com mais de 80% das famílias vegetais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Nessa simbiose a planta disponibiliza ao fungo fotoassimilados para o seu crescimento e desenvolvimento, enquanto o fungo amplia a área de absorção de nutrientes das plantas, principalmente os imóveis e pouco móveis, além de melhorar a absorção de água e promover resistência ou tolerância a estresses bióticos e abióticos (GIANINAZZI *et al.*, 2010).

As micorrizas mantêm por longo tempo o rendimento do sistema e reduzem custos de produção (SILVA *et al.*, 1998). Possuem influência direta no crescimento de plantas, principalmente em solos com baixos teores de nutrientes (MIRANDA; VILELA; MIRANDA, 2005). Além disso, esses microrganismos produzem glomalina, glicoproteína que contribui para a estabilização e agregação do solo (SINGH; TRIPATHI, 2013).

O sistema de plantio direto permite o aumento da colonização micorrízica das plantas e conseqüentemente da ação benéfica desses microrganismos em comparação ao sistema convencional, pela ausência do preparo intensivo do solo e com isso, a quebra das hifas formadas pelos fungos, maior proteção do solo, menor oscilações de temperatura e o uso de culturas de cobertura (SCHNEIDER *et al.*, 2011). Entretanto, a dinâmica da comunidade de FMA, seja pela densidade de propágulos fúngicos ou diversificação das espécies fúngicas é dependente das culturas utilizadas no sistema (SCHNEIDER *et al.*, 2011; GERZ *et al.*, 2018) e das práticas agrícolas (OEHL *et al.*, 2004). A avaliação qualitativa da diversidade de espécies de FMA, e quantitativa do número de propágulos fúngicos, colonização radicular e síntese das frações de glomalina, têm constituído variáveis relevantes para estimar a qualidade do solo, principalmente em experimentos a longo prazo e a campo (KLING; JACOBSEN, 1998).

A contribuição desta associação para a sustentabilidade do SPDH da cebola é conhecida pela melhor absorção nutricional e crescimento de plantas micotróficas (VENTURA *et al.*, 2021), estruturação do solo pela agregação das partículas do solo, armazenamento do carbono no solo (LOSS *et al.*, 2015) e produção de glomalina (BORTOLINI *et al.*, 2021). Santos *et al.* (2013b) ao avaliarem as espécies, aveia-comum, ervilhaca, nabo-forrageiro solteiros e os consórcios aveia-comum + ervilhaca, aveia-comum + ervilhaca + nabo-forrageiro para anteceder o cultivo da mandioca na colonização micorrízica a campo e, observaram que a aveia-comum aumentou 133% a esporulação e manteve elevada a colonização micorrízica no cultivo comercial.

Com relação ao rendimento, Junges (2012) ao inocular mudas de cebola em casa de vegetação com duas espécies de FMA, constatou aumento no crescimento das plantas e na absorção nutricional. Souza *et al.* (2020) em SPDH da cebola a longo prazo, observaram que este sistema ocasionou aumento de rendimento total e produção de bulbos maiores.

Entretanto, pouco se sabe sobre os padrões de distribuição e abundância da comunidade de FMA presentes nos sistemas em relação às espécies vegetais (SANDERS; RODRIGUEZ, 2016), principalmente em SPDH no decorrer do tempo e rotação de cultivos. Para Alguacil *et al.* (2008) as modificações na estrutura das comunidades de FMA pelos sistemas de manejo do solo têm conseqüências a médio

e longo prazo no rendimento e sustentabilidade do sistema. Assim, estudar a diversidade desses microrganismos diante de diferentes práticas agrícolas e da dinâmica vegetal é pertinente para ensaios que ecológicos que prezem pela sustentabilidade do sistema.

### **2.2.1 Influência de cultivos agrícolas na diversidade de FMA e uso de técnicas moleculares para a caracterização genética**

Os cultivos agrícolas podem alterar a comunidade de FMA (TRINCHERA *et al.*, 2019), e isso pode estar ligado ao caráter micotrófico das plantas manejadas (CAMERON, 2010). Por conta dos benefícios que esses microrganismos proporcionam ao agroecossistema, é importante planejar a sucessão de cultivos de maneira a beneficiar a atividade da simbiose micorrízica (HEIJDEN *et al.*, 1998).

Em trabalho realizado por Higo *et al.* (2016) ao analisarem a comunidade de FMA após o cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) e trevo-vermelho (*Trifolium pratense* L.) foram observadas quinze espécies nos sistemas radiculares, com dominância da ordem Glomerales e maior abundância para o trevo-vermelho, o que indica que a espécie vegetal tem relação direta com a comunidade de FMA presente. Njeru *et al.* (2015) observaram que a diversidade dos FMA é afetada tanto pelo cultivo de cobertura como o cultivo comercial, visto que após o cultivo de ervilhaca, cultura de cobertura micotrófica, e mostarda (*Brassica juncea*), não micotrófica, seguidos do cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), identificaram-se 46 e 53 diferentes espécies diferentes de FMA no fim do ciclo das plantas de inverno e do tomate, respectivamente. Todavia, os autores não observaram diferenças na diversidade de FMA entre as culturas de cobertura, e sim, a modificação da abundância de acordo com os cultivos empregados.

Na cebola, Galván *et al.* (2009) ao avaliarem sistemas convencionais e orgânicos, identificaram 14 espécies de FMA e não encontraram diferenças entre os sistemas, mas observaram que as condições edafoclimáticas de cada região avaliada afetaram a composição dessas comunidades.

As análises da estrutura da comunidade dos FMA foram, por muito tempo, feitas a partir da caracterização morfológica de esporos presentes no solo

(MERGULHÃO *et al.*, 2014), surgindo posteriormente técnicas moleculares. Dentre estas, uma das primeiras foi a eletroforese em gel com gradiente desnaturante (DGGE) (ZILLI *et al.*, 2003). Todavia, estas técnicas possuem limitações. No caso da morfologia de esporos, algumas espécies de FMA não esporulam e pode ocorrer a sobreposição das características morfológicas e mesmo variações, pela experiência do avaliador (NOVAIS; SOUZA; SIQUEIRA, 2010). No caso da DGGE, há dificuldades para diferenciar bandas semelhantes, necessidade de produtos tóxicos e de mão de obra especializada (GOMES *et al.*, 2010).

O desenvolvimento de técnicas baseadas no sequenciamento do DNA da comunidade microbiana do solo vem para aprimorar os estudos sobre a ecologia de FMA presentes no agroecossistema (LI *et al.*, 2010), e assim, permite a compreensão das relações entre plantas, microrganismos e o ambiente, o que vem a alavancar os estudos sobre a ecologia do solo (ABOIM *et al.*, 2004). Em meio a isso, as abordagens moleculares, pela eficiência e identificação confiável da comunidade vêm se tornando um padrão entre os cientistas que trabalham com a ecologia de FMA (GORZELAK *et al.*, 2012).

O primeiro par de primers específicos para identificar essa comunidade de microrganismos, VANS1/NS21, foi desenvolvido por Simon, Lalonde e Bruns (1992) a partir da região SSU 18S, que, no entanto, não apresenta muita especificidade para FMA (TAYLOR *et al.*, 2016). A partir disso, vários trabalhos foram conduzidos em outras regiões do material genético, como LSU, a grande subunidade, e ITS, que separa os genes 18S e 28S (SALLES; SOUZA, 1998).

Até o momento, nenhuma região é universalmente aceita para a identificação da comunidade de FMA presente no solo (DELAVAUX *et al.*, 2021). Com o avanço da tecnologia, técnicas como o sequenciamento de nova geração (NGS) começaram a permitir a caracterização simultânea de diferentes comunidades com alta confiabilidade, e assim, entender as relações ecológicas entre elas, até mesmo para táxons raros no agroecossistema (SCHUSTER, 2008).

O sequenciamento NGS é uma técnica minuciosa que precisa de cuidados, de acordo com o objetivo dos pesquisadores para ser eficiente, como a escolha adequada dos iniciadores (SOUZA, 2005; GORZELAK *et al.*, 2012).



Para Hart *et al.* (2015) a região ITS, utilizada neste trabalho, é adequada para estudos taxonômicos de FMA. Enquanto a região SSU não permite a identificação em nível de espécie (KRUGER *et al.*, 2009). Em trabalho conduzido por Delavaux *et al.* (2021) a região LSU mostrou potencial como método adequado para ser utilizada para esta finalidade, mas ainda é pouco utilizada em levantamentos ambientais para FMA (LEKBERG *et al.*, 2018). A região ITS pode ser considerada conveniente para identificação de FMA e permite chegar até o nível de espécie (KRYUKOV, 2020) e está presente nos principais bancos de dados, como o MaarjAM (OPIK *et al.*, 2010), utilizado como referência neste estudo.

Em trabalho conduzido por Xiang, Chen e Li (2016) ao compararem diferentes conjuntos de primers das regiões SSU (GeoA2/Geo11, NS31/AM1, AML1/AML2), ITS (AMV4.5NF/AMDGR) e LSU+SSU (SSUmAf-LSUmAr/SSUmCf-LSUmBr) para identificar a comunidade de fungos micorrízicos de amostras de solo, observaram que os primers apresentaram razoável cobertura da comunidade de FMA e, o primer AMV4.5NF/AMDGR foi capaz de caracterizar maior diversidade da comunidade fúngica. Para Lumini *et al.* (2010) esse par de iniciadores é indicado para amostras de solo, visto que possui capacidade de amplificar grande quantidade de sequências do filo Glomeromycota e suas respectivas ordens.

A comparação de trabalhos na área de ecologia do solo é dependente das regiões e primers utilizados, já que cada um possui especificidades, isso é demonstrado por Geel *et al.* (2014) ao contrastar diferentes iniciadores para a identificação da comunidade de FMA. Os autores observaram que os iniciadores AMV4.5NF/AMDGR caracterizaram de forma consistente a comunidade de Glomeromycota e apresentaram maior especificidade em comparação aos demais primers testados, visto que possui pouca incompatibilidade para a grande maioria de FMA. Entretanto, para os autores, esse par favoreceu as sequências de Glomeraceae em detrimento de Ambisporaceae, Claroideoglomeraceae e Paraglomeraceae e, desta forma pode ser indicado o uso de primers combinados.

## 2.2.2 Interações de culturas de cobertura com a comunidade de FMA e plantas espontâneas

A diversidade de FMA pode ser influenciada pela característica micotrófica das espécies utilizadas como cobertura e cultivo comercial (TRINCHERA *et al.*, 2019) e essa dinâmica pode ser determinante do número de propágulos desses microrganismos. Também são afetados o rendimento dos cultivos e a estrutura das comunidades vegetais. Caracterizar tal comportamento é relevante na busca por manejos sustentáveis, principalmente com o uso de técnicas avançadas como o sequenciamento do DNA da comunidade de FMA do solo.

As espécies vegetais utilizadas no agroecossistema atuam diretamente no comportamento das comunidades de FMA conforme seu caráter micotrófico (O'CONNOR *et al.*, 2002). Contudo, a associação de FMA pode também modificar a emergência de espécies no sistema (GOMIDE *et al.*, 2009), o que indica que interações entre as plantas utilizadas no sistema e os FMA ocorrem nos dois sentidos. Essas interações são complexas, dinâmicas e estão presentes em todos os sistemas agrícolas (VATOVEC; JORDAN; HUERD, 2005), e provavelmente são relevantes para o manejo sustentável de plantas espontâneas (JORDAN; ZHANG; HUERD, 2000; CARDOSO; NOGUEIRA, 2009).

O uso de culturas de cobertura da família das Brassicaceae, como o nabo-forrageiro, causa diminuição da emergência de plantas espontâneas, e os mecanismos envolvidos podem incluir características alelopáticas, físicas ou o caráter não micotrófico da família vegetal (HARAMOTO; GALLANDT, 2004). Trinchera *et al.* (2019) ao avaliarem durante dois anos o cultivo de centeio e trigo-espelta (*Triticum spelta*) na colonização radicular das culturas de cobertura e plantas espontâneas, e no controle dessas espécies, observaram redução significativa na densidade total das plantas espontâneas e a presença de colonização em planta espontânea não micotrófica (*Rumex crispus*), após o cultivo das espécies hospedeiras, com destaque para o centeio.

Ao testar a hipótese de que a comunidade de FMA de um sistema pode determinar a estrutura vegetal, Heijden *et al.* (1998) inocularam quatro espécies de *Glomus* sp. nas plantas espontâneas: bromo-do-prado (*Bromus erectus*), festuca

(*Festuca ovina*) e pilosela (*Hieracium pilosella*), em casa de vegetação, e observaram que as plantas espontâneas micotróficas com a presença de FMA acumularam maiores teores de massa seca e crescimento radicular. Os autores concluíram que a composição e diversidade das comunidades de FMA podem determinar a estruturação e crescimento de plantas, a depender da dependência micorrízica das espécies presentes no sistema, assim como, da comunidade diversificada de FMA.

Ao examinar a resposta de nove plantas espontâneas (grama-francesa (*Agropyron repens*), cauda-de-raposa (*Alopecurus myosuroides*), apera-sedosa (*Apera spicaventi*), cardo-canadense (*Cirsium arvense*), capim-colchão (*Digitaria sanguinalis*), grama-azul (*Poa annua*), capim-rabo-de-raposa (*Setaria viridis*), erva-moura (*Solanum nigrum*) e milhagem (*Echinochloa crusgalli*) inoculadas com *Glomus intrarradices*, Veiga *et al.* (2011) observaram que nenhuma espontânea inoculada foi beneficiada, sendo que as três últimas plantas espontâneas citadas tiveram seu crescimento reduzido pelo inóculo. Isso sugere que a resposta entre espécies de FMA e plantas espontâneas é dependente da comunidade biológica com que tem interação.

A espécie de cobertura também afeta a colonização das espécies micotróficas posteriores. Gomide *et al.* (2009) avaliaram em casa de vegetação, o cultivo de espécies micotróficas (feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), amendoim (*Arachis hypogaea*), soja (*Glycine max*), milho (*Pennisetum glaucum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), aveia-preta) e não micotróficas (nabo-forrageiro) inoculadas com oito espécies de FMA em conjunto, seguido do cultivo de braquiária (*Urochloa decumbens*), observaram que durante o ciclo das espécies de cobertura, a colonização radicular e esporulação variaram com a espécie cultivada, assim como, a colonização da planta cultivada em seguida. Entretanto, a espécie hospedeira cultivada teve maior influência na colonização que o número de propágulos do cultivo anterior, visto que o nabo-forrageiro apresentou apenas 2% de colonização, sem a presença de arbúsculos e vesículas, enquanto a colonização de *U. decumbens* posterior foi similar aos tratamentos antecidos pelos cultivos micotróficos (aveia-preta e feijão-caupi).

Em condições a campo, tais interações são onipresentes em distintos agroecossistemas. Jordan, Zhang e Huerd (2000) sugerem que a estrutura da comunidade de plantas espontâneas do sistema está relacionada ao caráter

micotrófico das espécies, e que as interações entre plantas espontâneas micotróficas podem aumentar o crescimento destes vegetais no sistema. Entretanto, a diversidade das espécies cultivadas, culturas de cobertura e cultivos comerciais, pode ser determinante para atividade biológica do agroecossistema e a condução ecológica de plantas espontâneas.

A ação benéfica da diversificação de FMA e de plantas cultivadas no manejo de plantas espontâneas, também é exposto por Vavotec, Jordam e Huerd (2005) que sugerem o estudo temporal das variações entre as comunidades fúngicas e de plantas espontâneas para melhor determinar as interações presentes no agroecossistema de acordo com as plantas cultivadas.

As culturas de cobertura afetam a diversidade e a produção de propágulos fúngicos das comunidades de fungos micorrízicos (ANGELINI *et al.*, 2012; VENTURA *et al.*, 2021), mas pouco se sabe sobre os padrões de distribuição desses fungos (SANDERS; RODRIGUEZ, 2016). Ao avaliar a influência do sistema de plantio direto, sistema convencional e a mata nativa na diversidade de FMA, Miranda e Miranda (2007b) observaram que os solos cultivados apresentaram maior diversidade e número de esporos de FMA que a mata nativa. Benedetti *et al.* (2005) ao avaliar o uso de milheto, guandu-anão (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e pousio para anteceder o cultivo de milho, observaram que a presença de culturas de cobertura aumentou o número de propágulos fúngicos e a riqueza de espécies de FMA em até 733% e 114%, respectivamente.

Esses estudos demonstram a relevância do enriquecimento da comunidade de FMA no manejo de plantas espontâneas, diversidade de fungos micorrízicos arbusculares e na sustentabilidade do sistema, todavia, isto é dependente do planejamento adequado das culturas de cobertura e cultivos comerciais empregados.

Experimentos sobre a relação do caráter micotrófico das plantas e a composição das comunidades vegetais são escassos em agroecossistemas, nos quais outras variáveis estão envolvidas, principalmente com análises temporais durante a rotação dos cultivos (TRINCHERA *et al.*, 2019). Diante disso, é essencial avançar no entendimento destas associações entre culturas de cobertura, FMA, plantas espontâneas e cultivos comerciais, o que inclui o cultivo da cebola, em SPDH.

### 3. HIPÓTESES

- O caráter micotrófico da cultura de cobertura aveia-preta favorece a diversidade e abundância de plantas espontâneas micotróficas durante o ciclo da cebola, enquanto, o nabo-forageiro, não micotrófico, incrementa a comunidade espontânea não micotrófica.
- A cebola, por ser micotrófica, tem maior rendimento e produz bulbos maiores ao ser antecedida pela aveia preta, cultura de cobertura micotrófica, do que por nabo-forageiro, cobertura não micotrófica, ou pousio.
- A cultura de cobertura aveia-preta aumenta a diversidade da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares durante o cultivo da cebola em comparação com as plantas espontâneas do pousio ou com a cultura de cobertura não micotrófica, nabo forrageiro.
- A aveia-preta, cultura de cobertura micotrófica, aumenta a riqueza das espécies de FMA, colonização radicular dos cultivos e produção das frações de glomalina no solo, enquanto o cultivo de nabo-forageiro, não micotrófico, diminui essas variáveis.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos das culturas de cobertura de carácter micotrófico, aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e não micotrófico, nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.), solteiras ou consorciadas, sobre a comunidade e abundância de plantas espontâneas, rendimento e classificação da cebola e a diversidade e produção de propágulos dos fungos micorrízicos arbusculares, colonização micorrízica radicular e síntese das frações de glomalina, em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH).

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a composição florística e a dinâmica da fitossociologia de plantas espontâneas com uso de aveia-preta e nabo-forageiro, solteiros ou consorciados, durante o ciclo da cebola.
- Quantificar o rendimento e a classificação da cebola antecedida por coberturas de inverno micotrófica (aveia-preta) e não micotrófica (nabo-forageiro) solteiras e consorciadas, ou por pousio.
- Caracterizar a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo com cebola antecedida por pousio ou culturas de cobertura de inverno micotrófica (aveia-preta) ou não micotrófica (nabo-forageiro) em cultivo solteiro ou consorciado.
- Avaliar o efeito do carácter micotrófico das espécies de cobertura de inverno aveia-preta e nabo-forageiro, solteiras e consorciadas, sobre o número de propágulos, colonização micorrízica da cebola e produção das frações de glomalina durante o ciclo da cultura.

## 5. ESTUDO 1: CARACTERIZAÇÃO FLORÍSTICA E LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO DE PLANTAS ESPONTÂNEAS NO CULTIVO DA CEBOLA PRECEDIDA POR CULTURA DE COBERTURA MICOTRÓFICA E NÃO MICOTRÓFICA, RENDIMENTO E CLASSIFICAÇÃO DOS BULBOS.

### RESUMO

A cebola é uma das hortaliças mais produzidas no Brasil. Porém, as espontâneas reduzem sua produtividade. O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) surge como estratégia para sanar esse problema, com o uso da rotação de cultura, revolvimento restrito e culturas de cobertura. Buscou-se elucidar como o cultivo de culturas de cobertura de caráter micotrófico, aveia-preta (AV), e não micotrófico, nabo-forrageiro (NF), solteiros e consorciados, afetam a diversidade e a distribuição da comunidade de plantas espontâneas, além do rendimento e classificação da cebola em SPDH. O experimento foi realizado na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina em Ituporanga, SC, em área experimental de cebola em SPDH há 13 anos. Os tratamentos foram: AV e NF solteiros e consorciados, e testemunha (vegetação espontânea), seguidos do cultivo de cebola, em blocos casualizados. No acamamento das espécies de cobertura foi mensurada a massa seca. 39, 85 e 116 dias após transplante (DAT) da cebola as plantas espontâneas foram identificadas, categorizadas em micotróficas e não micotróficas e realizado o levantamento fitossociológico a partir da massa seca. As espécies dominantes foram as duas que apresentaram maior produção de massa seca. Aos 116 DAT a cebola foi classificada e obteve-se o rendimento. A descrição da comunidade espontânea fez uso de estatística qualitativa descritiva. Os dados de massa seca das plantas de cobertura, índices fitossociológico, rendimento e classificação da cebola tiveram a normalidade e homogeneidade de variância avaliados, então, submetidos a ANOVA e separadas por SNK ( $p < 0,05$ ). As culturas de cobertura produziram 5 a 5,2 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca e diferiram com relação à testemunha (1,4 Mg ha<sup>-1</sup>). Foram identificadas 20 espécies de plantas espontâneas pertencentes a 14 famílias. As culturas de cobertura afetaram a biomassa seca total, riqueza e diversidade (H') das plantas espontâneas durante o ciclo da cebola e atingiram os maiores valores na bulbificação. O caráter micotrófico das culturas de cobertura não afetou a dominância das plantas espontâneas, visto que, a maior parte (80%) das plantas espontâneas identificadas foram micotróficas. A trapoeraba e beldroega, não micotróficas, só foram encontradas no tratamento com a presença de nabo-forrageiro, não micotrófico. O cultivo de aveia-preta, como cultura de cobertura em SPDH, aumentou o rendimento da cebola e o número de bulbos maiores.

**Palavras-chave:** *Allium cepa* L., *Avena strigosa* Schreb., *Raphanus sativus* L., SPDH.

## ABSTRACT

Onion is one of the most produced vegetables in Brazil. However, weeds reduce its productivity. The no-tillage system emerges as a strategy to solve this problem with the use of crop rotation, restricted tillage and cover crops. The aim of this study was to elucidate how the cultivation of mycotrophic cover crops, black-oat (BO), and non-mycotrophic, oilseed-radish (OR), alone and intercropped, affect the diversity and distribution of the weeds community, as well as the yield and classification of onions in no-tillage system. The experiment was conducted at the Santa Catarina Agricultural Research and Rural Extension Company in Ituporanga, SC, in an experimental onion area in no-tillage system for 13 years. The treatments were: BO and OR alone and intercropped and control (weed vegetation), followed by onion cultivation, in randomized blocks. The dry mass of the cover crops was measured. 39, 85 and 116 days after transplanting (DAT) of onion weeds were identified, categorized into mycotrophic and non-mycotrophic and the distribution was performed based on dry mass. The dominant species were the two that presented the highest production of dry mass. At 116 DAT the onion was classified and the yield was obtained. The description of the weed community made use of qualitative descriptive statistics. The data of dry mass of the cover crops, phytosociological indices, yield and classification of the onion had the normality and homogeneity of variance evaluated, then submitted to ANOVA and separated by SNK ( $p < 0.05$ ). The cover crops produced 5 to 5.2 Mg ha<sup>-1</sup> of dry mass and differed with respect to the control (1.4 Mg ha<sup>-1</sup>). Twenty species of weed plants belonging to 14 families were identified. Cover crops affected the total dry biomass, richness and diversity ( $H'$ ) of weed plants during the onion cycle and reached the highest values at bulbing. The mycotrophic character of the cover crops did not affect the dominance of the weeds, since, most (80%) of the identified weeds were mycotrophic. The non-mycotrophic trapoeraba and belldroega were only found in the treatment with the presence of the non-mycotrophic cover crop (OR). Black oat cover crop in no-tillage system increased onion yields and the number of larger bulbs.

**Keywords:** *Allium cepa*. AMF. *Avena strigosa* Schreb., *Raphanus sativus* L. No-tillage system.



## 5.1 INTRODUÇÃO

*Allium cepa* L., popularmente chamada de cebola, é uma hortaliça mundialmente comercializada. Na safra 2019/20 teve uma produtividade mundial de 128 milhões de Mg, e destas, 1,5 milhão foram produzidas no Brasil (FAO, 2021). Isso coloca o país entre os dez principais produtores do mundo, com destaque para a região Sul, que produz cerca de 44% dos bulbos nacionais (IBGE, 2022). O estado de Santa Catarina produziu na safra 2019/20, um montante de 524 mil Mg, com produtividade média de 29 Mg por hectare, e predominante, participação da agricultura familiar (EPAGRI, 2021). Na safra 2021/22 foi produzida em 17.467 ha, um total de 496 mil Mg (GIEHL *et al.*, 2022).

Esta cultura é majoritariamente conduzida sob sistema de preparo convencional (SPC) e faz uso de intenso revolvimento do solo, com o uso de aração e gradagem, além de aplicação de insumos externos e produtos químicos (JÚNIOR; GONÇALVEZ, MARCUZZO, 2018). Disso decorrem degradações dos atributos físicos (LOSS *et al.*, 2015), químicos (SOUZA *et al.*, 2014; MELO *et al.*, 2016) e biológicos (VALARINI *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2020) do solo e, conseqüentemente queda na produção (SOUZA *et al.*, 2021), o que chama a atenção da comunidade científica para a continuidade do sistema (SOUZA; MADEIRA; FIGUEIREDO, 2014).

Para a cebola, isso é ainda mais importante por conta da dependência de herbicidas para o controle de plantas espontâneas (TEASDALE; MOHLER, 2000). A cultura possui arquitetura simplificada (ROWE, 2006), que favorece a emergência e competição destes cultivos indesejados e, ao serem mal manejados, chegam a reduzir até 94% a produção de bulbos (FAYAD *et al.*, 2019).

Na busca pela recuperação e continuidade do agroecossistema, relacionada a uma produção sustentável, o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) surge como estratégia (VEZZANI *et al.*, 2019). Ele preconiza a cobertura permanente do solo (FAYAD; COMIN; BERTOL, 2016), uso planejado e contínuo de rotações de culturas, revolvimento restrito às linhas de plantio, parcelamento e uso de adubações orgânicas (MAFRA *et al.*, 2019). Com isso, promove-se melhoria dos atributos físicos (LOSS *et al.*, 2017), químicos (SOUZA *et al.*, 2014), biológicos (BORTOLINI *et al.*,

2021), além de incrementar a diversidade vegetal e microbiológica do solo (FAYAD *et al.*, 2019) e o rendimento dos cultivos (SOUZA *et al.*, 2020).

O uso desse sistema no estado de Santa Catarina vem crescendo (EPAGRI, 2020), mas o manejo adequado de plantas espontâneas ainda é um desafio (GOMES; CHRISTOFFOLETI, 2008). No SPDH, o controle é realizado principalmente pelo uso de culturas de cobertura que liberam compostos químicos por meio de exsudatos radiculares durante o seu crescimento, decomposição da parte aérea (SOUZA *et al.*, 2018) e impedimento físico (COMIN *et al.*, 2018). Tem influência também as interações entre as comunidades presentes (SOUZA *et al.*, 2020), como as plantas cultivadas, fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as plantas espontâneas (GOMIDE *et al.*, 2009).

Os FMA são fungos presentes no solo que se associam a mais de 80% das famílias vegetais que possuem caráter micotrófico, formando micorrizas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Essa simbiose mutualística, entre a planta e o fungo, permite ampliação da área de absorção de nutrientes e água, promove resistência a fatores bióticos e abióticos para a planta, que por sua vez, fornece ao fungo energia para os processos metabólicos advindos da fotossíntese (SMITH; READ, 2008). Além disso, as hifas formadas abaixo do solo permitem a comunicação entre as plantas presentes e podem favorecer o surgimento de plantas espontâneas de caráter micotrófico ou não micotrófico (CARRENHO; TRUFEM; BONONI, 2002; MIRANDA; VILELA; MIRANDA, 2005), o que indica que a escolha das culturas de cobertura e dos cultivos comerciais pode ter relação com a diversidade e estrutura da comunidade de plantas espontâneas (JORDAN; ZHANG; HUERD, 2000).

Ao inocular diferentes plantas espontâneas com FMA, Veiga *et al.* (2011) concluíram que esses fungos tem capacidade de influenciar negativamente o crescimento de plantas espontâneas não micotróficas, visto o decréscimo do crescimento destas espécies. Com isso, pode se avançar a hipótese de que tais relações ecológicas atuam como determinantes da estrutura e diversidade da comunidade de plantas espontâneas (MASSENSINI *et al.*, 2014).

As culturas de cobertura também podem afetar a produtividade da cebola em SPDH, como observado por Souza *et al.* (2021) ao avaliarem o uso das espécies aveia-preta, cevada, centeio e nabo-forrageiro, solteiras e consorciadas, durante oito

anos. Os autores observaram que a prática beneficiou o rendimento da cebola em até 48% em comparação à testemunha sem o cultivo de culturas de cobertura no inverno, além da produção de bulbos maiores, principalmente com a estabilização do sistema no decorrer dos anos.

Assim, levanta-se a hipótese de que as culturas de cobertura com caráter micotrófico ou não micotrófico afetam o surgimento e abundância de plantas espontâneas, ao favorecer a emergência e distribuição da comunidade que possui essa característica, respectivamente. Além disso, o uso de cultura de cobertura micotrófica aumenta, em relação a área em pousio e à planta de cobertura não micotrófica, o rendimento da cebola e a proporção de bulbos maiores, já que a cebola é um cultivo micotrófico.

Este estudo buscou esclarecer como o cultivo de culturas de cobertura de caráter micotrófico (aveia-preta) e não micotrófico (nabo-forrageiro), solteiros e consorciados, afetam a diversidade e a distribuição da comunidade de plantas espontâneas, além do rendimento e classificação da cebola em SPDH.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Localização do experimento, histórico da área e práticas fitossanitárias

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

O solo da área de experimento de acordo com Embrapa (2018) é classificado como CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico e apresenta na camada de 0-10 cm textura franco-argilosa, com 380, 200 e 420 g Kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, em levantamento realizado em 2009.

A área possui histórico de cultivo de cebola (*Allium cepa* L.) em sistema de preparo convencional (SPC) por aproximadamente 20 anos, até 1996, quando foi

aplicado calcário para elevar o pH em água até 6,0 e se implantou o sistema de cultivo mínimo da olerícola, com rotação de culturas. As culturas de cobertura instaladas foram a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown), crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.). Este sistema permaneceu até 2007, ao ser cultivado batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Em 2009, foi implantado o experimento em SPDH com a cultura da cebola e como espécies de cobertura a aveia-preta; centeio (*Secale cereale* L.); nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.); nabo-forageiro + centeio e nabo-forageiro + aveia-preta, além de testemunha com vegetação espontânea. No mesmo ano, durante a instalação do experimento, a vegetação espontânea foi dessecada com o grupo químico Glicina substituída e não foram mais realizadas aplicações de agroquímicos.

Em 2010 a aveia-preta do tratamento solteiro e do consorcio com nabo-forageiro foi substituída por cevada (*Hordeum vulgare* L.). Em 2011, a aveia-preta voltou ao sistema de rotação ao substituir a cevada.

Em levantamento de plantas espontâneas no ano de 2010 e 2011, a testemunha apresentou predomínio de caruru (*Amaranthus lividus*), tiririca (*Cyperus* sp.), trevo (*Oxalis* sp.), orelha-de-urso (*Stachys arvensis*), língua-de-vaca (*Rumex obtusifolius*) e picão-branco (*Galinsoga parviflora*) (SOUZA *et al.*, 2018).

No manejo adotado ao longo dos anos, as espécies de inverno são semeadas a lanço na quantidade de 1,5 vezes a recomendada por Monegat (1991) para garantir a formação de maior biomassa sobre a superfície do solo. Em seguida uma máquina semeadora de cereais passa duas vezes na área para incorporar as sementes. Não são realizadas adubações ou tratos culturais durante o ciclo das culturas de cobertura. Então, as espécies de cobertura são acamadas em pleno florescimento com rolo faca (modelo RF240, MBO). E em seguida se aplicou na área, até o ano de 2011, 96 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 125 Kg de K<sub>2</sub>O, 100 Kg de N por hectare anualmente, na forma de dejetos de aves, 50% no transplante das mudas e o restante, 45 dias após. A partir de 2011 foi cessada a aplicação de fosfato natural em decorrência dos teores de fósforo (P) terem sido considerados muito altos após a realização da análise química do solo (SBCS, 2016). Nos anos do experimento, se aplicaram seis Mg de cama de aves em dois momentos, 50% no transplante das mudas e o restante 45 dias após.

As características químicas da camada de 0-10 cm do solo na safra 2020/21, encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo (0-10 cm) na safra 2020/21 em experimento com cebola precedida de culturas de cobertura ou plantas espontâneas.

Trat.	pH	SMP	MO	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	SB
	H <sub>2</sub> O		%	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%		
AV	6,1	6,0	4,2	107	520	0	6,4	2,6	4,2	14,6	71	10,4
NF	6,2	6,1	4,2	98	473	0	6,8	2,7	3,4	14,3	74	10,6
AV + NF	6,3	6,2	4,2	111	488	0	6,6	2,7	3,6	14,2	74	10,5
TEST	6,2	6,1	3,8	83	602	0	6,1	2,5	3,9	14,3	73	10,4

Trat: tratamento; AV: aveia-preta; NF: nabo-forageiro; TEST: testemunha; pH: Potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio (extraídos por Mehlich 1); Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio (trocaíveis, extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H+Al: acidez potencial; CTC: capacidade de troca catiônica (em pH 7,0); V: saturação por bases; SB: soma de bases.

A produção de mudas de cebola foi realizada sob o preparo convencional em canteiros na estação experimental. Para o transplante das mudas, após o acamamento das culturas de cobertura foram abertos sulcos com máquina de plantio direto e transplantadas manualmente as mudas de cebola (*Allium cepa* L.) cv. Empasc 352 - Bola Precoce com espaçamento de 0,40 m entre linhas e 0,10 m entre plantas com 10 linhas por parcela.

### 5.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados (DBC), com quatro repetições e quatro tratamentos, em esquema fatorial (análises temporais), quando aplicável. Os blocos foram distanciados a cada 2 metros e cada unidade experimental (parcela) tinha 25 m<sup>2</sup> (5 m x 5 m).

Os tratamentos, quantidade de sementes viáveis aplicadas anualmente para a semeadura das culturas de cobertura e caráter micotrófico das espécies estão descritos na Tabela 2. Todos foram seguidos pelo cultivo da cebola (primavera/verão) e mucuna-preta (120 Kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis) no verão.

**Tabela 2.** Culturas de cobertura de inverno, densidade de sementes e caráter micotrófico das plantas antecedendo o cultivo da cebola em plantio direto.

<b>Tratamento (inverno)</b>	<b>Densidade de sementes viáveis (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Caráter micotrófico</b>
Aveia-preta (AV)	120	sim (GOMIDE <i>et al.</i> , 2009)
Nabo-forrageiro (NF)	20	não (MIRANDA <i>et al.</i> , 2001).
AV + NF (consórcio)	60 + 10	-
Testemunha	Vegetação espontânea	-

As coletas de campo realizadas ocorreram durante o ciclo das espécies de cobertura de inverno e cultivo da cebola na safra 2020/21, estas e as variáveis analisadas segue na Tabela 3.

**Tabela 3.** Coletas de campo realizadas, dias após transplante (DAT) da cebola no ano safra 2020/21 (estudo 1).

<b>Ciclo da espécie de cobertura/Cebola</b>	<b>DAT</b>	<b>Variáveis</b>
Acamamento das espécies de cobertura/Transplante da cebola	0	Massa seca das culturas de cobertura;
Estabelecimento a campo da cebola	39	Caracterização florística e levantamento fitossociológico das plantas espontâneas.
Bulbificação da cebola	85	Caracterização florística e levantamento fitossociológico das plantas espontâneas.
Colheita da cebola	116	Caracterização florística e levantamento fitossociológico das plantas espontâneas. Rendimento e classificação dos bulbos.

### **5.2.3 Massa seca da parte área das culturas de cobertura de inverno**

Aos 100 dias após a semeadura das espécies de cobertura, no pleno florescimento, foram coletadas três subamostras da parte área das plantas por parcela com o uso de um quadro de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m<sup>2</sup>) lançado ao acaso. As plantas foram secas em estufa de ventilação forçada a 62°C até massa constante (FERREIRA *et al.*, 2010) para obtenção da massa seca das culturas de cobertura. A testemunha foi avaliada da mesma forma, obtendo-se a massa seca das plantas espontâneas no momento do transplante da cebola.

### **5.2.4 Caracterização florística da comunidade de plantas espontâneas e relação micotrófica**

Em cada parcela do experimento foi instalada uma parcela útil fixa (1 x 1 m), na qual não se realizou nenhuma capina durante o ciclo da cebola e que foi usada para a caracterização florística, relação micotrófica e levantamento fitossociológico das plantas espontâneas.

Após o plantio da cebola foram coletadas nas parcelas úteis as partes vegetativas das plantas espontâneas rente ao solo 39, 85 e 116 dias após transplante (DAT) das mudas de cebola.

O material coletado foi separado por características morfológicas, acondicionado em sacos de papel, e transportados caixas térmicas para laboratório para classificação específica (nome popular, nome científico e família) de acordo com o Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas (LORENZI, 2014), Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas (LORENZI, 2008) e o Manual de Identificação de Plantas Infestantes: Hortifrúti (MOREIRA; BRAGANÇA, 2011).

As espécies identificadas foram categorizadas de acordo com o seu caráter micotrófico, a partir de pesquisas nas bases de dados Scielo, WebOfScience e Scopus.

### 5.2.5 Levantamento fitossociológico da comunidade de plantas espontâneas

A fitossociologia da comunidade de plantas espontâneas neste estudo foi baseada na mensuração da massa seca da parte aérea das plantas, que se mostra relevante para estudos ecológicos de agroecossistemas e quantificação do poder competitivo destas espécies (GRIME, 1998; FREITAS *et al.*, 2009).

Após a identificação das espécies, as plantas foram secas em estufa de ventilação forçada a 62°C até massa constante, para obtenção da massa seca por planta espontânea.

Foi mensurada a massa seca absoluta ( $MS_A$ ) das plantas espontâneas em cada tratamento e tempo de análise, subdividida em massa seca absoluta micotrófica ( $MS_{AM}$ ) e não micotrófica ( $MS_{ANM}$ ) e riqueza de espécies ( $R_i$ ). A massa seca produzida por cada espécie foi utilizada para quantificar a massa seca relativa ( $MS_R$ ) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Características utilizadas para levantamento fitossociológico das plantas espontâneas em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo o cultivo da cebola em plantio direto.

Índices	Descrição
$MS_A$	Massa seca ( $Mg\ ha^{-1}$ ) total de plantas espontâneas
$MS_{AM}$	Massa seca ( $Mg\ ha^{-1}$ ) total de plantas espontâneas micotróficas
$MS_{ANM}$	Massa seca ( $Mg\ ha^{-1}$ ) total de plantas espontâneas não micotróficas
$R_i$	Número de espécies amostradas por tratamento
$MS_R$	Percentagem (%) da massa seca total constituída pela espécie avaliada

A classificação de espécie dominante, foi obtida pela dominância relativa ecológica ( $DR_E$ ) de acordo com Pitelli (2000) que se assemelha ao cálculo de  $MS_R$ . Foi considerada dominante as duas plantas espontâneas com maior  $DR_E$ .

A diversidade florística foi obtida por meio do índice de diversidade de Shannon-Wiener ( $H'$ ) que estima a diversidade específica (MAGURRAN, 1988) e a heterogeneidade florística (KREBS, 1978) por meio da Equação 1, com adaptação para massa seca ( $p_i$ ) (CAMARGO; SCHIAVETTI; CETRA, 1997).



$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \ln p_i \text{ (Equação 1)}$$

$p_i$  (massa seca relativa da espécie  $i$  na amostra em escala decimal);  $S$  (riqueza de espécies).

### 5.2.6 Classificação e rendimento da cebola

Ao final do ciclo da cebola os bulbos presentes nas cinco linhas centrais das parcelas foram colhidos ao haver 50% das plantas no ponto de maturação fisiológica, correspondente ao tombamento das folhas (SOUZA, 2012). As plantas ficaram na superfície do solo por dez dias para a cura, para secagem e perda das folhas. Os bulbos foram classificados em calibres e realizada de acordo com a norma vigente do Ministério da Agricultura e Abastecimento (portaria 529/1995), por meio do diâmetro transversal do bulbo (MAPA, 1995) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Classificação dos bulbos de *Allium cepa* L. (portaria 529/1995)

Classe	Maior diâmetro transversal do bulbo (mm)
2	>35 – 50
3	>50 – 70
4	> 70-90
5	> 90

Fonte: MAPA (1995).

O rendimento foi obtido com a aferição da massa dos bulbos comercializáveis ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (classe 2,3,4 e 5).

### 5.2.7 Análises estatísticas

A descrição da comunidade de plantas espontâneas e famílias em conjunto com a classificação das espécies dominantes e caráter micotrófico foi qualitativa e descritiva. A frequência das espécies em cada tempo de análise foi descrita por meio de tabelas de presença (1) ou ausência (0). Utilizou-se de estatística descritiva com o

uso de gráficos do tipo “pizza” de acordo com a distribuição da massa seca relativa por espécie.

Os dados referentes à massa seca das culturas de cobertura, total das plantas espontâneas, com caráter micotrófico e sem esta característica, riqueza de espécies, índice de Shannon-Wiener, classificação e rendimento da cebola foram submetidos ao teste de Bartlett para avaliação da homogeneidade de variância ( $p < 0,05$ ) e teste de Shapiro-Wilk para normalidade ( $p < 0,05$ ). Caso identificada a não homogeneidade e normalidade foram transformados por  $(x+1)^{0,5}$  e novamente submetido aos testes de Bartlett e Shapiro-Wilk.

Depois de verificada homogeneidade e normalidade, foi realizada análise de variância (ANAVA) ( $p < 0,05$ ) e, quando houveram efeitos significativos, as médias foram separadas pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ) no software R 4.1.2 (R CORE TEAM, 2003). Os gráficos foram construídos no software GraphPad Prism 6.

Foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) para identificar tendências de agrupamento das espécies identificadas entre os tratamentos (culturas de cobertura) e tempos (39, 85, 116 DAT), normalizados por Hellinger, com auxílio do pacote *vegan* (OKSANEN *et al.*, 2020) no programa R 4.1.2.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Massa seca das culturas de cobertura

A produção de massa seca das espécies de cobertura e da testemunha (plantas espontâneas) ao final do ciclo 2020/21 apresentou diferença entre os tratamentos (Tabela 6). Os tratamentos com culturas de cobertura no inverno produziram entre 5,0 e 5,2 Mg ha<sup>-1</sup> e diferiram com relação a testemunha que produziu 1,4 Mg ha<sup>-1</sup>. Este resultado está de acordo com Souza *et al.* (2020) que ao avaliarem diferentes espécies de cobertura de inverno antes da cebola em SPDH na mesma área experimental, observaram que os tratamentos com aveia-preta, centeio, nabo-forrageiro, nabo-forrageiro + centeio e nabo-forrageiro + aveia, foram superiores à testemunha avaliados entre 2009-2016. Ventura *et al.* (2021) na safra 2017/18, observaram que os tratamentos com aveia-preta e nabo-forrageiro em cultivo solteiro,

o consórcio delas e a testemunha produziram, 100 dias após semeadura, 4,5; 4,1; 4,5 e 1,5 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, semelhante aos dados obtidos neste experimento. Esses resultados corroborativos evidenciam a importância de experimentos a longo prazo para a determinação de padrões em ensaios biológicos, com ressalva a condições climáticas (BHULLAR; RIAR, 2020). Assim como, a estabilidade da produção adequada de massa seca em SPDH a longo prazo (FAYAD *et al.*, 2019).

**Tabela 6.** Produção de massa seca das culturas de cobertura de inverno em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo o cultivo da cebola em SPDH.

<b>Planta de Cobertura</b>	<b>Massa seca (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>
Aveia-preta solteira	5,2 A
Nabo-forrageiro solteiro	5,0 A
Aveia-preta + Nabo-forrageiro em consórcio	5,0 A
Testemunha (vegetação espontânea)	1,4 B
CV (%)	19

Letras iguais não diferem entre si pelo teste SNK (p<0,05).

Os sistemas com a presença de culturas de cobertura produziram até 271% mais massa seca em comparação a testemunha. Os benefícios do uso de culturas de cobertura já foram amplamente discutidos, seja pela proteção do solo (ALVARENGA *et al.*, 2001), ciclagem de nutrientes (FAYAD *et al.*, 2018) e diminuição da emergência de plantas espontâneas (ALTIERI *et al.*, 2012).

Os resultados deste trabalho foram superiores aos encontrados nos estudos realizados anteriormente na mesma área, e isso está de acordo com Pavinato e Rosolem (2008) que indicam que sistemas conservacionistas, manejados com o uso de culturas de cobertura, aumentam a produção de massa seca no decorrer do tempo, pela incorporação gradual de nutrientes liberados no solo.

Com relação à massa seca produzida no tratamento testemunha, as espécies dominantes presentes eram língua-de-vaca (*Rumex obtusifolius*) e losna (*Artemisia verlotorum*) que também foram encontradas em levantamento realizado por

Souza *et al.* (2018) a partir de amostras de solo coletadas em 2010 e 2011 da área em que foi realizado este experimento.

A importância da produção de massa seca por plantas de cobertura entre 3-16 Mg ha<sup>-1</sup> foi citada por Mafra *et al.* (2019). Neste estudo, esse valor foi de 5 a 5,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Entretanto, foram menores, se comparado com médias obtidas em outros sistemas de plantio direto com rotações de culturas, que obtiveram valores entre 6 a 11 Mg ha<sup>-1</sup> (COSTA *et al.*, 2014; BASSEGIO *et al.*, 2015), isso decorre do acamamento precoce das espécies de cobertura no presente experimento, já que a época de acamamento das plantas de cobertura é definida pelo período mais adequado para o plantio das mudas de cebola. Para a cultivar Empasc 352 - Bola Precoce isso ocorre na segunda quinzena de julho.

### **5.3.2 Caracterização florística da comunidade de plantas espontâneas e relação micotrófica**

Nos tratamentos avaliados foram identificadas 20 diferentes espécies de plantas espontâneas pertencentes a 14 famílias botânicas em distintos tempos durante o ciclo da cebola (Tabela 7). Cinco plantas espontâneas pertencem a família Poaceae: aveia-preta (*A. strigosa* Schreb.), grama-seda (*Cynodum dactylon* (L.) Pers), capim-colchão (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.), capim-milhã (*D. horizontalis* Willd.) e capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica* (L.) Gaertner). Três espécies da família Asteraceae: losna (*Artemisia verlotorum*), picão-branco (*Galinsoga quadriradiata*) e serralha (*Sonchus oleraceus*). As demais são únicas dentro de cada família: caruru (Amaranthaceae: *Amaranthus lividus*), mastruço (Apiaceae: *Cyclospermum leptophyllum*), trapoeraba (Commelinaceae: *Commelina benghalensis*), corda-de-violão (Convolvulaceae: *Ipomoea grandifolia*), tiririca (Cyperaceae: *Cyperus rotundus*), leiteiro (Euphorbiaceae: *Euphorbia heterophylla*), soja-perene (Fabaceae: *Neonotonia wightii*), azedinha (Oxalidaceae: *Oxalis latifolia*), veronica (Plantaginaceae: *Veronica persica*), língua-de-vaca (Polygonaceae: *Rumex obtusifolius*), beldroega (Portulacaceae: *Portulaca oleraceae*) e joá-de-capote (Solanaceae: *Nicandra physalodes*).

**Tabela 7.** Caracterização florística das plantas espontâneas durante o ciclo da cebola 39, 85 e 116 dias após transplante (DAT) das mudas de cebola em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo a hortaliça em SPDH.

Planta espontânea	Nome popular	Família	AV			NF			AV + NF			Testemunha		
			DAT	39	85	116	39	85	116	39	85	116	39	85
<i>Amaranthus lividus</i>	Caruru	Amaranthaceae	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Cyclospermum leptophyllum</i>	Mastruço	Apiaceae	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Artemisia verlotorum</i>	Losna	Asteraceae	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	Picão-branco		1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Sonchus oleraceus</i>	Serralha		1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Commelina benghalensis</i>	Trapoeraba	Commelinaceae	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
<i>Ipomoea grandifolia</i>	Corda-de-viola	Convolvulaceae	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Cyperus rotundus</i>	Tiririca	Cyperaceae	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteiro	Euphorbiaceae	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja-perene	Fabaceae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Oxalis latifolia</i>	Azedinha	Oxalidaceae	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Veronica persica</i>	Veronica	Plantaginaceae	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Avena strigosa</i>	Aveia-preta		1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
<i>Cynodum dactylon</i>	Gramma-seda	Poaceae	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Digitaria horizontalis</i>	Capim-milhã		0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

<i>Digitaria sanguinalis.</i>	Capim-colchão		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Eleusine indica</i>	Capim-pé-de-galinha		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Rumex obtusifolius</i>	Língua de vaca	Polygonaceae	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
<i>Portulaca oleraceae</i>	Beldroega	Portulacaceae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nicandra physalodes</i>	Joá-de-capote	Solanaceae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

AV (Aveia-preta); NF (nabo-forrageiro); DAT (dias após transplante); 1 (presença); 0 (ausência).

Foram identificadas 10 espécies de 7 famílias botânicas, 18 espécies de 13 famílias e 16 espécies de 11 famílias aos 39, 85 e 116 DAT, respectivamente.

O período crítico de interferência das plantas espontâneas no cultivo de cebola transplantada compreende entre a 28 e 52 DAT (CAVALIERI, 2018). A avaliação no período de estabelecimento a campo da cebola (39 DAT), que compreende este intervalo, foi o qual se encontrou menos espécies residentes. Isso se deve a ação da biomassa das culturas de cobertura que estavam em início de decomposição, como já observado por Hirata *et al.* (2009) no cultivo do tomate, e Vilanova *et al.* (2014) na cebola em SPDH. A diminuição da incidência de plantas residentes pela ação de espécies de cobertura pode estar relacionada a barreira física (ALTIERI *et al.*, 2011), alelopatia (REGINATTO *et al.*, 2020), mas também ação biológica (SOUZA *et al.*, 2020). Essa redução favorece o crescimento das mudas de cebola, pela diminuição da competição neste período.

O maior número de plantas espontâneas foi registrado no período de bulbificação da cebola, seguido da colheita, com 18 e 16 diferentes espécies respectivamente. Isso provavelmente decorre do avanço na decomposição da biomassa das culturas de cobertura e, conseqüente maior incidência solar, que favorece a emergência de plantas fotoblásticas positivas (TAIZ; ZIEGER, 2009) como já relatado por Vidal e Trezzi (2004) e Meschede, Ferreira e Ribeiro-Júnior (2007) em plantio direto.

Em levantamento realizado na mesma área deste estudo, Comin *et al.* (2018) na safra 2010/11, identificaram 37 plantas espontâneas de 20 famílias botânicas. Por sua vez, na safra 2012/13, Souza *et al.* (2018) observaram 21 espécies de 15 famílias. Isso indica que com o passar dos anos o SPDH vem diminuindo a diversidade de plantas espontâneas, visto que o levantamento realizado em 2009/2010 correspondia ao início do sistema em SPDH e no presente ensaio foram obtidas 20 diferentes espécies de 14 famílias, isso está relacionado ao manejo do solo restrito às linhas de plantio associado ao uso das culturas de cobertura. Entretanto, sugere-se a realização de caracterizações florísticas anuais na área para conclusões mais robustas em experimentos biológicos de longo prazo (BHULLAR; RIAR, 2020).

O leiteiro e a azedinha ocorreram em todos os tratamentos e tempos avaliados. Essas espécies também foram observadas nos levantamentos anteriores (COMIN *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2018).

A losna foi encontrada em todos os tratamentos com exceção do consórcio entre AV + NF. O caruru e o capim-colchão foram encontrados em todas as áreas e períodos analisados, com exceção de 39 DAT na testemunha e AV + NF. A serralha não estava presente apenas em 116 DAT no consórcio.

O mastruço, corda-de-viola e tiririca não foram encontrados nas áreas com nabo-forrageiro solteiro. Esse tratamento apresentou menor número de plantas espontâneas (12), em comparação a aveia-preta (15), consórcio entre estas plantas (16) e testemunha (14). Isso indica que esta Brassicaceae afetou a comunidade das plantas emergentes, ao diminuir o número de espécies, como observado por Rizzardi, Silva e Vargas (2006) em plantio direto.

A aveia-preta foi identificada como planta espontânea em 39 e 85 DAT nos tratamentos com a presença desta Poaceae como planta de cobertura de inverno. Assim, esta espécie considerada durante o ciclo da cebola como espontânea, foi originária de sementes de plantas que fecharam o seu ciclo antes do acamamento.

A soja-perene, capim-pé-de-galinha e joá-de-capote foram observadas apenas 85 DAT nos tratamentos testemunha, AV + NF e aveia-preta solteira, respectivamente.

Com relação ao caráter micotrófico das espécies ou famílias de plantas espontâneas encontradas nos diferentes tratamentos e tempos avaliados, 80% delas possuem caráter micotrófico já conhecido. As espécies que não formam micorrizas encontradas neste estudo foram o caruru, a trapoeraba, a língua-de-vaca e a beldroega (Tabela 8).



**Tabela 8.** Caráter micotrófico das plantas espontâneas identificadas em experimento com culturas de cobertura de inverno ou pousio antecedendo o cultivo da cebola em SPDH.

<b>Planta espontânea</b>	<b>Nome popular</b>	<b>Micotrófico</b>	<b>Fonte</b>
<i>A. spinosus</i>	Caruru	não	VAVOTEC, JORDAN e HUERD (2005)
<i>A. leptophyllum</i>	Mastruço	sim	SILVA <i>et al.</i> (2021)
<i>A. verlotorum</i>	Losna	sim	
<i>G. quadriradiata</i>	Picão-branco	sim	SANTOS <i>et al.</i> (2013a)
<i>S. oleraceus</i>	Serralha	sim	
<i>C. benghalensis</i>	Trapoeraba	não	HARLEY; SMITH (1983)
<i>I. grandifolia</i>	Corda-de-viola	sim	SANTOS <i>et al.</i> (2013a)
<i>C. rotundus</i>	Tiririca	sim	MANJARREZ <i>et al.</i> (2019)
<i>E. heterophylla</i>	Leiteiro	sim	SANTOS <i>et al.</i> (2013a)
<i>N. wightii</i>	Soja-perene	sim	MELLONI; SIQUEIRA; MOREIRA (2003)
<i>O. corniculata</i>	Azedinha	sim	MACEK (2017)
<i>V. persica</i>	Veronica	sim	TRINCHERA <i>et al.</i> (2019)
<i>C. dactylon</i>	Aveia-preta	sim	SANTOS <i>et al.</i> (2013a)
<i>A. strigosa</i>	Gramma-seda	sim	COSTA; DIONÍSIO; ANGHINONI (1989)
<i>D. horizontalis</i>	Capim-milhã	sim	PAULA; SOARES; SIQUEIRA (2006)
<i>D. sanguinalis</i>	Capim-colchão	sim	
<i>E. indica</i>	Capim-pé-de-galinha	sim	NAKATANI <i>et al.</i> (2008).
<i>R. obtusifolius</i>	Língua de vaca	não	VAVOTEC, JORDAN e
<i>P. oleraceae</i>	Beldroega	não	HUERD (2005)
<i>N. physalodes</i>	Joá-de-capote	sim	ORTAS <i>et al.</i> (2013).

A trapoeraba e a beldroega só foram observadas nos tratamentos com a presença do nabo-forrageiro. Isso sugere que o caráter não micotrófico da espécie de

cobertura de inverno pode ter afetado o estabelecimento de plantas não micotróficas nestes tratamentos. Entretanto, são necessários novos levantamentos no mesmo tratamento para avaliar a replicabilidade desse resultado, visto que, no comportamento de comunidades biológicas, padrões são difíceis de encontrar (PERONI; HERNÁNDEZ, 2011) e além disso, estas espécies não foram consideradas dominantes no tratamento com nabo-forrageiro (item 5.3.3).

### 5.3.3 Levantamento fitossociológico da comunidade de plantas espontâneas

A produção de massa seca total das plantas espontâneas ( $MS_A$ ), subdivida em micotróficas ( $MS_{AM}$ ) e não micotróficas ( $MS_{ANM}$ ), índice de diversidade de Shannon-Wiener e riqueza de espécies ( $R_i$ ) tiveram diferenças no fator de análises temporais (Tabela 9).

**Tabela 9.** Massa seca total das plantas espontâneas ( $MS_A$ ), micotróficas ( $MS_{AM}$ ) e não micotróficas ( $MS_{ANM}$ ), Riqueza ( $R_i$ ) e índice de Shannon-Wiener ( $H'$ )

Análise temporal	MAS	$MS_{AM}^1$	$MS_{ANM}^1$	$R_i$	$H'$
Descrição (DAT)	Mg ha <sup>-1</sup>			Espécies	
Estabelecimento a campo (39)	0,69 C	0,55 C	0,14 B	6 B	0,345 B
Bulbificação (85)	2,69 A	2,18 A	0,51 A	8 A	0,650 A
Colheita (116)	1,98 B	1,65 B	0,33 B	7 B	0,606 A
CV (%)	38,9	12,4	7,9	19,8	25,6

Letras iguais em cada coluna não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ). <sup>1</sup> Dados transformados por  $(x+1)^{0,5}$ . DAT (dias após transplante).

Com relação à massa seca total e riqueza de espécies os valores inferiores do período de estabelecimento a campo, provavelmente estão relacionados à ação da biomassa em início da decomposição das plantas de cobertura, como sugere Pacheco *et al.* (2016) em plantio direto. Com o avanço da decomposição, e consequentemente, maior incidência de luz solar no solo descoberto (MESCHÉDE; FERREIRA; RIBEIRO-JÚNIOR, 2007) e redução da ação alelopática da palhada (ALTIERI *et al.*, 2011) o ambiente tornou-se mais favorável à germinação, crescimento

e produção de massa seca das plantas espontâneas nos períodos posteriores de bulbificação e colheita.

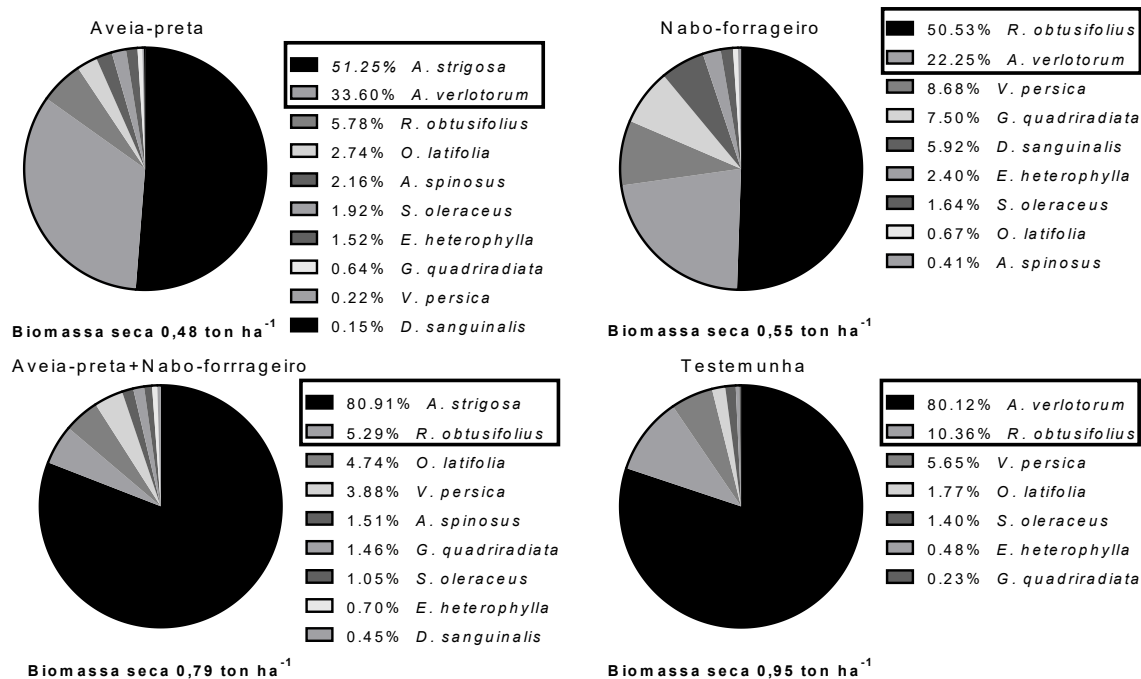
A bulbificação foi o período de maior acúmulo de massa seca pelas plantas espontâneas. Isso está relacionado ao ciclo curto das plantas espontâneas, aliado a melhores condições climáticas (CARVALHO, 2013) que também podem ter colaborado para a maior riqueza de espécies observadas neste período.

Com a separação da produção de massa seca entre plantas micotróficas e não micotróficas, se observa um comportamento semelhante ao acúmulo geral de massa seca, que foi menor no estabelecimento a campo e maior no período de bulbificação. Houve predominância de produção da massa seca por plantas micotróficas, que foi 3,9; 4,3 e 5,0 vezes maior que a quantidade produzida pela comunidade não micotrófica em 39, 85 e 116 DAT, respectivamente. Isso está de acordo com a predominância de plantas micotróficas em todos os tratamentos e épocas de amostragem (Tabelas 7 e 8).

O índice de diversidade de Shannon-Wiener foi superior na bulbificação e na colheita, dado maior número de espécies coletadas (18 e 16, respectivamente) e acúmulo de massa seca (2,69 e 1,98 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) em comparação ao estabelecimento a campo, que apresentou 10 diferentes espécies e 0,69 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca, visto que, as duas variáveis são utilizadas no cálculo para a obtenção do índice (BARROSO; MURATA, 2021).

Ao avaliarem a produção de massa seca e riqueza de plantas espontâneas na safra 2009/10 na mesma área deste experimento, Comin *et al.* (2018) observaram a redução destas variáveis no estabelecimento a campo nos tratamentos com a presença de diferentes culturas de cobertura em relação a testemunha. Neste levantamento, os tratamentos não se diferiram entre si, provavelmente porque o estudo realizado pelos autores citados foi no início da instalação do SPDH na área, enquanto, este ensaio foi realizado em área que já apresenta este sistema há 13 anos. Aqueles autores observaram, na safra 2010/11, que as culturas de cobertura afetaram o índice de Shannon-Wiener até a colheita, em comparação à testemunha. Entretanto, naquela safra foi realizada a capina da área no período de bulbificação da hortaliça e, neste estudo as parcelas úteis usadas para as avaliações não foram manejadas e não apresentaram diferença entre a bulbificação e colheita.

A massa seca relativa de cada planta espontânea ( $MS_R$ ) e as espécies consideradas dominantes no estabelecimento a campo (39 DAT) se encontra na Figura 1.



**Figura 1.** Massa seca relativa de cada planta espontânea ( $BS_R$ ) e as plantas consideradas dominantes (quadrado) no estabelecimento a campo (39 DAT) em diferentes tratamentos.

Em 39 DAT houve menor riqueza entre as espécies (Tabela 9) e predominância acima de 50% da aveia-preta nos tratamentos que tinham essa planta no inverno (51% e 81% para cultivo solteiro e consorciado, respectivamente), língua-de-vaca (51%), planta não micotrófica, no tratamento com nabo-forrageiro, planta de cobertura não micotrófica e a losna (80%) na testemunha. A losna (*Artemisia verlotorum*) foi dominante em todos os tratamentos neste tempo, com exceção do consórcio, em que não foi observada em nenhum período de análise. Também foi a espécie de maior dominância na testemunha (80%) e a segunda espécie dominante, com 51% da massa seca total das espontâneas, para áreas com aveia-preta e nabo-

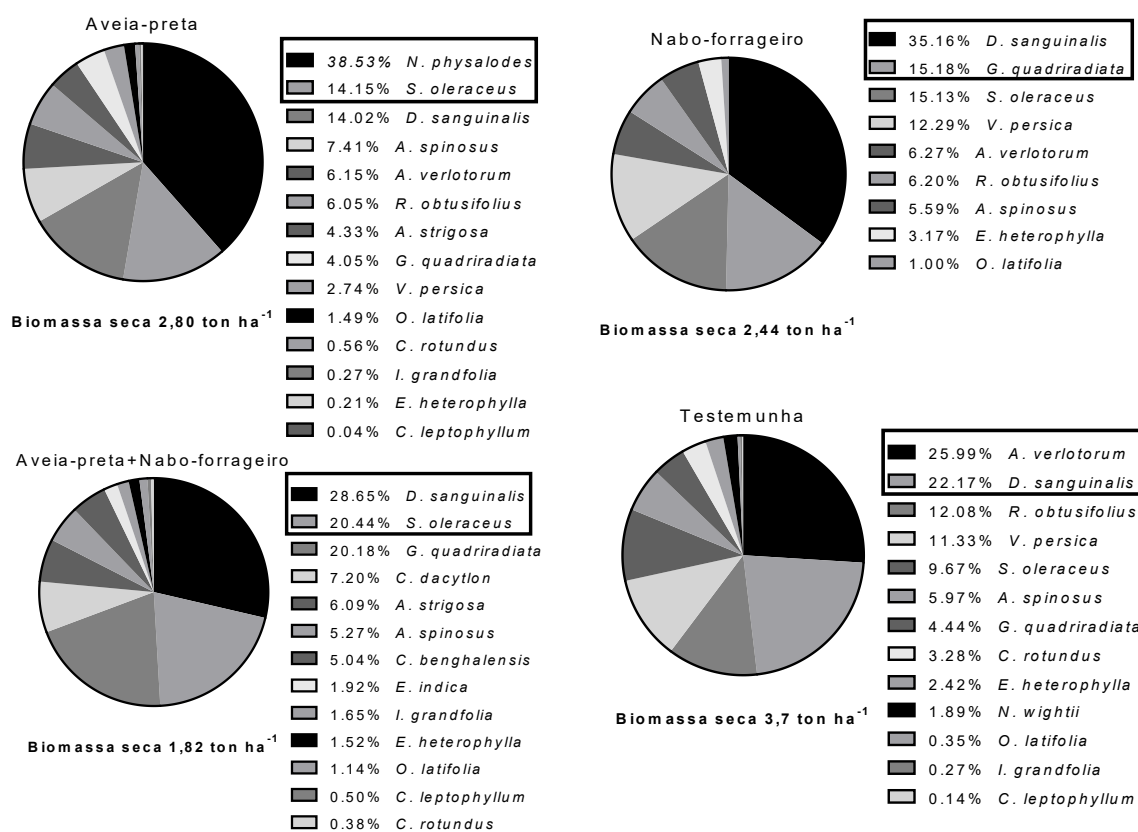
forageiro solteiros. Este comportamento indica supressão desta espécie com o uso de aveia-preta e nabo-forrageiro solteiros e maior ação delas ao serem consorciadas.

A losna (*Artemisia* spp.) causa danos econômicos em agroecossistemas brasileiros e também de clima temperado, e é de difícil controle pela abundante perpetuação por sementes e rizomas (BRIGHENTI; OLIVEIRA, 2011). O uso de consórcio de plantas de adubação verde para a supressão de plantas espontâneas em sistema de plantio direto de hortaliças foi observado por Comin *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2018). O comportamento supressivo observado neste estudo indica a necessidade de novos estudos sobre o potencial inibitório destas plantas de cobertura sobre esta importante planta espontânea para as nossas condições.

No consórcio AV + NF, a outra planta dominante foi a língua-de-vaca que representou apenas 5% da massa seca total.

A dominância (>50%) das plantas espontaneas nesse período pode estar relacionado às características de crescimento exponencial inicial das plantas, mais adaptadas a condições menos favoráveis, como indicado pela maior cobertura do solo aos 39 DAT (STORKEY, 2004).

A massa seca relativa de cada planta espontânea ( $MS_R$ ) e as plantas consideradas dominantes na bulbificação da cebola (85 DAT) se encontram na Figura 2. De maneira geral, a bulbificação foi o período de maior acúmulo de massa seca, como observado na Tabela 9. O tratamento com aveia-preta apresentou a maior diversidade de espécies em todas as análises de plantas espontâneas (14 plantas), mas isso não representou o maior acúmulo de massa seca geral, que foi observado na testemunha neste tempo ( $3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Isso pode estar relacionado às características ecofisiológicas das plantas espontâneas presentes, e também, aspectos competitivos entre as espécies (THIEL *et al.*, 2018) ou efeitos alelopáticos advindos da degradação da palhada da aveia-preta que pode interferir no acúmulo de massa seca das plantas espontâneas, como observado por Sturm, Peteinatos e Gerhards (2018).



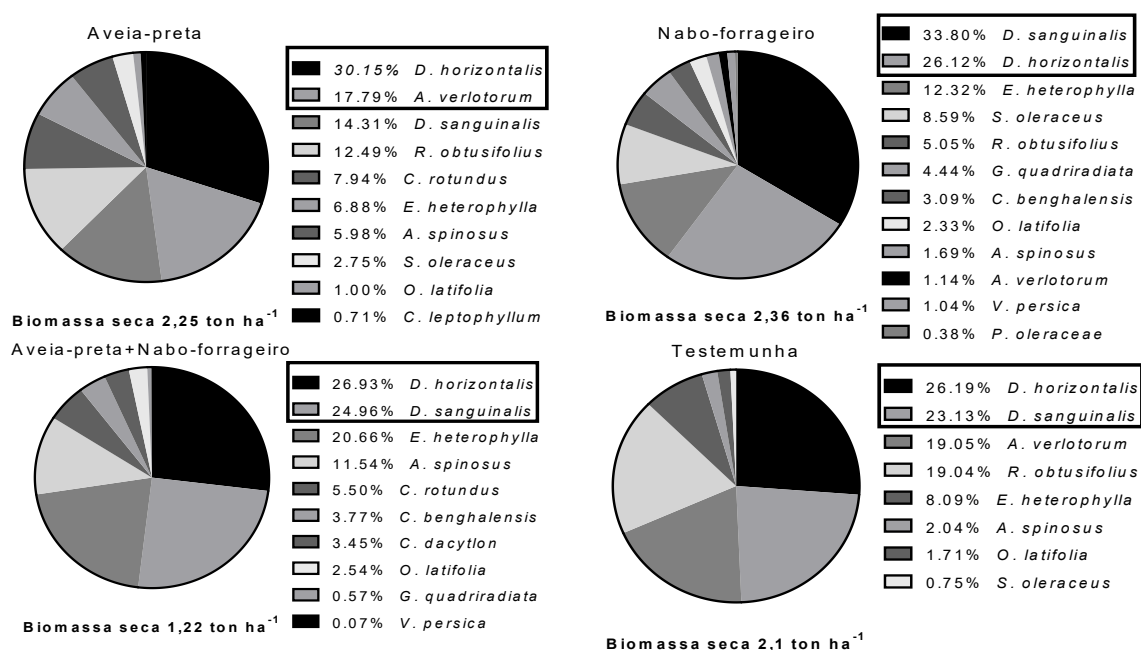
**Figura 2.** Massa seca relativa de cada planta espontânea (BSR) e as plantas consideradas dominantes (quadrado) na bulbificação (85 DAT) em diferentes tratamentos.

Na bulbificação, o capim-colchão foi dominante no cultivo solteiro de nabo-forrageiro (35%), AV + NF (29%) e testemunha (22%). A serralha, planta micotrófica foi dominante nos tratamentos com a presença da aveia-preta (14% e 20% para os tratamentos com cultivo solteiro e consorciado, respectivamente). O picão-branco foi dominante no tratamento nabo-forrageiro solteiro (15%) e a losna continuou (39 e 85 DAT) entre as duas com maior produção de massa seca na testemunha (26%).

Na aveia-preta solteira, *D. sanguinalis* foi a terceira planta com maior produção de massa seca (14%) e não foi considerada dominante. Neste período e tratamento foi observado grande acúmulo de massa seca pelo joá-de-capote, planta micotrófica, considerado dominante (39%). Entretanto, neste estudo essa planta apenas foi encontrada naquele momento.

Na colheita (116 DAT) (Figura 3), houve dominância do capim-milhã em todos os tratamentos, que representou 30, 26, 27 e 23% da massa seca total produzida nas áreas com aveia-preta, nabo-forageiro solteiros, AV + NF e testemunha, respectivamente. O capim-colchão do mesmo gênero (*Digitaria*) foi a outra espécie dominante e constituiu 34, 25 e 26% da massa seca total produzida no tratamento com nabo-forageiro, AV + NF e testemunha, respectivamente. Esse gênero representa uma espécie espontânea presente em condições tropicais e subtropicais, principalmente na primavera e verão, com agressiva capacidade de dominar o agroecossistema ao não ser controlada adequadamente (DIAS *et al.*, 2007). Provavelmente, este gênero se tornou dominante a partir da bulbificação neste experimento, pelas melhores condições climáticas, mais próximo ao final do ciclo da cebola.

A outra planta espontânea dominante no tratamento com aveia-preta solteira foi a losna (18%).



**Figura 3.** Massa seca relativa de cada planta espontânea (MS<sub>R</sub>) e as espécies consideradas dominantes (quadrado) na colheita (116 DAT) em diferentes tratamentos.

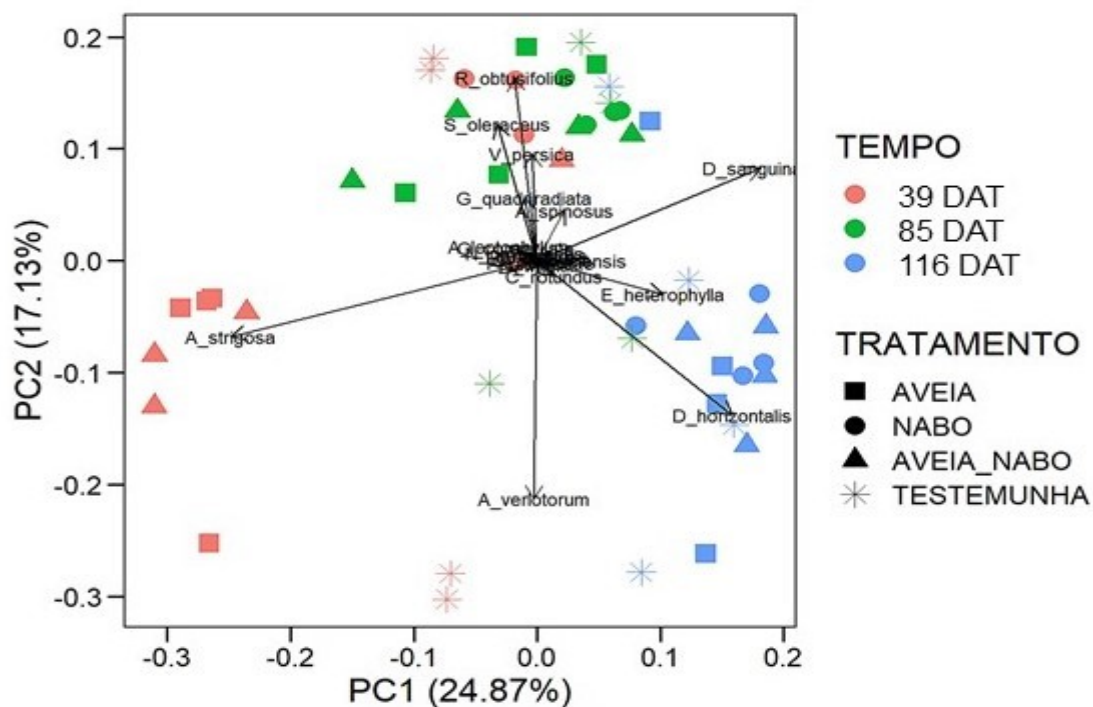
Em levantamento realizado com solo advindo da área deste experimento na safra 2010/11 e 2011/12 por Souza *et al.* (2018) as plantas espontâneas com maior ocorrência foram o caruru, a orelha-de-urso (*Stachys arvensis*) e a língua-de-vaca. Estas espécies, com exceção da orelha-de-urso, foram identificadas neste experimento realizado na safra 2020/21.

A massa seca geral acumulada das plantas espontâneas entre os tempos em cada tratamento com planta de cobertura variou entre 3,83 a 5,56 Mg ha<sup>-1</sup> em comparação a testemunha que produziu 6,75 Mg ha<sup>-1</sup>. Esse resultado está de acordo com outros ensaios realizados na mesma área, em que os autores observaram que a cebola antecedita pelo pousio em SPDH produzem maior massa seca de plantas espontâneas em comparação ao cultivo de culturas de cobertura, antes da olerícola (COMIN *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2018).

As duas espécies consideradas dominantes em cada tempo e tratamento foram conduzidas para a quantificação de colonização radicular por fungos micorrízicos (estudo 2).

Os dois principais eixos originados da análise de componentes principais (PCA) da produção de massa seca das diferentes plantas espontâneas submetidas a distintas espécies de cobertura analisada em diferentes tempos durante o ciclo da cebola explicou 42% da variância dos dados (24,87 e 17,13% para o primeiro (PC1) e segundo eixo (PC2), respectivamente) (Figura 4).





**Figura 4.** Análise de componentes principais (PCA) referente a produção de massa seca por diferentes plantas espontâneas durante o cultivo da cebola em SPDH na safra 2020/21 cultivada após diferentes culturas de cobertura (Tratamento) e avaliado em diferentes períodos (tempos).

DAT (Dias após transplante).

As espécies consideradas dominantes em algum período e tratamento neste experimento (aveia-preta, losna, capim-milha, capim-colchão, língua-de-vaca e serralha) formaram vetores mais pronunciados (>10% da variação nos eixos), dado maior produção de massa seca. O leiteiro não foi considerado dominante, mas foi observado em todos os tratamentos e tempos de análise e seu vetor também atingiu 10% de variação. Outras espécies consideradas dominantes, como joá-de-capote e picão-branco, não representaram eixos superiores a esta variação provavelmente por terem sido consideradas espécies dominantes apenas na aveia-preta e nabo-forrageiro solteiros em 85 DAT, respectivamente. As demais plantas espontâneas se concentraram na origem da PCA, isso está relacionado a diversidade e a dominância de poucas espécies que se apresentaram mais adaptadas as condições deste experimento.

A aveia-preta se concentrou na coleta de 39 DAT nos tratamentos AV e AV+NF. A losna concentrou-se na testemunha nos diferentes tempos, visto que a aveia-preta e o nabo-forrageiro, solteiros ou consorciados suprimiram o seu crescimento.

No momento de bulbificação (85 DAT), foi observada a maior diversidade de espécies consideradas dominantes, seguido da colheita (116 DAT).

Na colheita da cebola ainda houve predominância do vetor de capim-milhã, já que foi a espécie mais dominante em todos os tratamentos neste tempo, com exceção do nabo-forrageiro solteiro.

De maneira geral a PCA realizada com os dados transformados por Hellinger ordenou adequadamente a distribuição das espécies de acordo com a produção de massa seca de cada planta espontânea nos diferentes tratamentos e tempos de análise, pois os dois eixos independentes explicaram 24,87 e 17,13% da variação dos dados, respectivamente. Permitiu, em uma representação gráfica, observar as espécies consideradas dominantes por tempo e tratamento e a maior diversidade de espécies no tempo, que foi único fator com significância ( $p < 0,05$ ) para a riqueza e diversidade, como observado anteriormente (Tabela 9). O uso bem-sucedido desta análise para trabalhar com a diversidade de espécies já foi relatada por Mercante *et al.* (2007) e Dentika, Ozier-Lafontaine e Penet (2021) para plantas espontâneas.

### **5.3.4 Classificação e rendimento da cebola**

A cebola cultivada no ciclo 2020/21 produziu o equivalente a 30,4 e 35,1 Mg ha<sup>-1</sup> (rendimento total), com destaque para as áreas antecedidas pela aveia-preta, com rendimentos superiores à testemunha, como se observa na Tabela 10. Isso está de acordo com o encontrado por Souza *et al.* (2013) que avaliaram nesta área a produção da cebola na safra 2011/12 e Ventura *et al.* (2021) na safra 2017/2018. Nos dois trabalhos, a testemunha teve a produtividade reduzida em comparação aos tratamentos com culturas de cobertura. Este comportamento provavelmente está relacionado a produção de biomassa pelas culturas de cobertura que após o acamamento promovem a ciclagem de nutrientes (PACHECO *et al.*, 2011), maior atividade biológica e acúmulo de matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2007) com

consequente disponibilidade para o cultivo comercial sucessivo e também o maior número de bulbos classe 4 do tratamento com aveia-preta.

**Tabela 10.** Produtividade e classificação da cebola (cv. Bola Precoce) cultivada em experimento de SPDH após o acamamento de diferentes culturas de cobertura de inverno na safra 2020/21.

Tratamento	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Podres	Clas. 2	Clas. 3	Clas. 4	Podres	Rend. Total	Rend. comercializável	
	Número de bulbos ha <sup>-1</sup> (x1000)				Mg ha <sup>-1</sup>						
Aveia-preta <sup>1</sup>	16,25 B	170,83 <sup>NS</sup>	36,67 A	25,83 <sup>NS</sup>	0,9 B	22,8 <sup>NS</sup>	7,6 A	3,8 <sup>NS</sup>	35,1 A	31,3 <sup>NS</sup>	
Nabo-forrageiro <sup>1</sup>	22,92 AB	177,92	15,42 B	21,25	1,4 AB	23,9	3,2 B	3,0	31,5 B	28,5	
Aveia + Nabo <sup>2</sup>	21,67 AB	167,08	18,33 B	42,08	1,2 AB	22,5	3,6 B	5,7	33 AB	27,3	
Testemunha	35,83 A	187,92	12,50 B	18,75	2,2 A	23,3	2,5 B	2,4	30,4 B	28,0	
CV (%)	35,0	6,0	34,6	50,5	39,1	5,0	35,9	46,5	4,6	6,4	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si para SNK ( $p < 0,05$ ). <sup>NS</sup> não significativo ( $p < 0,05$ ). Clas. (classe), Rend. (Rendimento).

<sup>1</sup> Tratamento solteiro. <sup>2</sup> Tratamento em consórcio.

Foram encontrados bulbos podres ou plantas florescidas em todos os tratamentos, mas não foi observada influência dos tratamentos para esta ocorrência. Entretanto a diferença quantitativa de número de bulbos podres entre os tratamentos fez com que o rendimento comercializável não diferisse entre os tratamentos.

Com relação a classificação só foram encontrados bulbos das classes 2, 3 e 4, e os tratamentos afetaram apenas as classes 2 e 4. Os bulbos menores foram mais encontrados na testemunha, que diferiu do tratamento com aveia-preta. Em contrapartida, os bulbos maiores foram beneficiados por aveia-preta solteira em comparação aos outros tratamentos. Este comportamento deve estar relacionado à ação da decomposição da biomassa da *A. strigosa*, que possui alta relação de C:N (47:1, respectivamente, 100 dias após semeadura) (WISNIEWSKI; HOLTZ, 1997) e, apresenta decomposição mais lenta e liberação gradativa dos nutrientes para as plantas em sucessão (CRUSCIOL *et al.*, 2008). Além disso, a maior ocorrência de bulbos menores (classe 2 e 3) entre os tratamentos, com exceção da aveia-preta solteira, que estava com o solo mais protegido pela lenta decomposição, pode estar relacionada às condições climáticas de alta umidade e temperatura, durante os meses de desenvolvimento da hortaliça no ano de 2020, como indicado por Giehl *et al.* (2021b).

Ao avaliarem a produção de cebola em condições de SPDH durante oito anos (2009/10-2016/17), Souza *et al.* (2021) observaram que a cebola antecedita por aveia-preta (AV), nabo-forrageiro (NF), AV+NF e testemunha na mesma área deste experimento, apresentaram produção média de bulbos de 15, 14, 15 e 11 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Assim, observa-se incremento de produtividade para a safra avaliada neste experimento, o que indica que estas culturas de cobertura estão beneficiando a produtividade da cebola cultivada em SPDH a longo prazo.

## 5.4 CONCLUSÕES

A diversidade de plantas espontâneas diminuiu com o passar dos anos em SPDH, e na área estudada foram identificadas 20 espécies de plantas espontâneas pertencentes a 14 famílias botânicas.

A massa seca total, riqueza e diversidade ( $H'$ ) das plantas espontâneas modificam durante o ciclo da cebola e atingem os maiores valores na bulbificação.

No período do estabelecimento da cebola a campo, as espécies dominantes apresentaram massa seca maior que 50% do total das plantas espontâneas.

A aveia-preta e o nabo-forrageiro, solteiro ou consorciados suprimiram a losna.

A PCA ordena adequadamente a distribuição das espécies de acordo com a massa seca de cada planta espontânea.

O cultivo de aveia-preta, como cultura de cobertura em SPDH, aumenta o rendimento da cebola e o número de bulbos maiores.

O caráter micotrófico das culturas de cobertura não afeta a dominância das plantas espontâneas, visto que, a maior parte (80%) das plantas espontâneas no SPDH foram micotróficas. A trapoeraba e beldroega, não micotróficas, só foram encontradas no tratamento com a presença de nabo-forrageiro, não micotrófico, mas não foram consideradas dominantes.

## 6. ESTUDO 2: NÚMERO DE PROPÁGULOS E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS EM SUCESSÃO DE CEBOLA E CULTURAS DE COBERTURA MICOTRÓFICAS E NÃO MICOTRÓFICAS

### RESUMO

A cebola é predominantemente cultivada em sistema convencional, dependente de produtos químicos e revolvimento intensivo do solo que afetam a diversidade microbiana do solo. O sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) é uma alternativa ao fazer uso de culturas de cobertura (CC) em conjunto com a rotação planejada dos cultivos e revolvimento limitado às linhas de plantio. A escolha das CC afeta o número de propágulos e a diversidade de comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Esse trabalho buscou elucidar como culturas de cobertura que possuem caráter micotrófico, por fazer associação com FMA, no caso a aveia-preta (AV) ou não micotrófico, como o nabo-forrageiro (NF), solteiras e consorciadas, afetam a diversidade e o número de propágulos de FMA, colonização radicular e a produção das frações de glomalina, durante a sucessão de cultivos em SPDH. O experimento foi realizado na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina em Ituporanga, SC, em área experimental com cebola em SPDH há 13 anos. Os tratamentos foram: AV e NF solteiros e consorciados, e testemunha (vegetação espontânea), seguidos do cultivo de cebola e mucuna-preta, em blocos casualizados. As análises ocorreram durante dois anos. Amostras de solo foram coletadas na semeadura das CC/corte da mucuna-preta e no acamamento das CC para contagem de esporos. No fim do ciclo das CC foi avaliada a colonização micorrízica das CC e espécies espontâneas dominantes, além do potencial de inóculo do solo. Durante o ciclo da cebola a contagem de esporos, colonização micorrízica da cebola e espécies espontâneas dominantes foram realizadas em 39, 85 e 116 dias após transplante (DAT) da cebola. A caracterização genética por sequenciamento de nova geração da comunidade de FMA e quantificação das frações de glomalina foi realizada na semeadura e no corte das CC e 116 DAT. Os cultivos afetaram a abundância de propágulos fúngicos do solo, colonização micorrízica radicular das espécies vegetais, teores de glomalina e a diversidade de FMA. Os maiores números de esporos no solo ocorreram nos tratamentos com AV, em todos os períodos de análise, com exceção da época de semeadura das CC/corte da mucuna-preta. As maiores taxas de colonização micorrízica da cebola ocorreram 39 e 85 DAT e diminuíram aos 116 DAT, comportamento observado também nas espécies espontâneas. A presença anual de uma cultura não micotrófica reduziu as frações de glomalina no solo. O sequenciamento identificou 75 unidades taxonômicas operacionais com predominância do gênero *Glomus*. A diversidade de FMA foi afetada pelas CC e variou entre os tempos de coleta.

**Palavras-chave:** *Allium cepa* L. *Avena strigosa* Schreb. FMA. *Raphanus sativus* L. SPDH.

## ABSTRACT

The onion is predominantly produced in a conventional system, dependent on chemicals and intensive soil tillage that affect soil microbial diversity. The no-tillage system is an alternative by making use of cover crops (CC) in conjunction with planned crop rotation and limited tillage. The choice of CC affects the number of propagules and the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). This work sought to elucidate how cover crops that have mycotrophic character, by making association with AMF, in the case of black-oat (BO) or non-mycotrophic, oilseed-radish (OR), alone and intercropped, affect the diversity and the number of AMF propagules, root colonization and the production of glomalin fractions, during crop succession in a no-tillage system. The experiment was conducted at the Santa Catarina Agricultural Research and Rural Extension Company in Ituporanga, SC, in an experimental area with onion in the no-tillage system for 13 years. The treatments were: BO and OR alone and intercropped, and control (weeds), followed by onion and velvet-bean (*Mucuna aterrima*), in randomized blocks. The analyses occurred over two years. Soil samples were collected at CC seeding/cutting of velvet-bean and CC lodging for spore counts. At the end of the CC cycle, the mycorrhizal colonization of CC and dominant weeds and the inoculum potential of the soil were evaluated. During the onion cycle, spore counts, mycorrhizal colonization of onion and dominant weeds were performed at 39, 85 and 116 after days transplanting (ADT) of onion. Genetic characterization by next-generation sequencing of the AMF community and quantification of glomalin fractions was performed at sowing and cutting at CC and 116 DAT. Cultivations affected soil fungal propagule abundance, root mycorrhizal colonization of plant species, glomalin contents and AMF diversity. The highest numbers of spores in the soil occurred in the treatments with BO, in all periods of analysis, except for the time of sowing of CC/cutting velvet-bean. The highest mycorrhizal colonization rates of onion occurred at 39 and 85 DAT and decreased at 116 DAT, a behavior also observed in the weeds. The annual presence of a non-mycotrophic crop reduced the glomalin fractions in the soil. Sequencing identified 75 operational taxonomic units with a predominance of the genus *Glomus*. AMF diversity was affected by CC and varied between collection times.

**Keywords:** *Allium cepa* L. AMF. *Avena strigosa* Schreb. No-tillage system. *Raphanus sativus* L.



## 6.1 INTRODUÇÃO

O uso de culturas de cobertura em conjunto com a rotação planejada dos cultivos e revolvimento limitado as linhas de plantio são princípios básicos para o sucesso do sistema de plantio direto (SPD). Sua aplicação ao cultivo de hortaliças, com a redução e, até eliminação total de adubos solúveis e agroquímicos, aliado a mínima dependência de recursos externos, é conhecida como sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) (FAYAD; COMIN; BERTOL, 2016; MAFRA *et al.*, 2019). Esse sistema promove a recuperação dos atributos do solo ao reduzir a erosão e permitir melhor infiltração de raízes e retenção de água no solo (CUNHA *et al.*, 2011), aumentar os teores de matéria orgânica e ciclagem e nutrientes (PACHECO *et al.*, 2011), promover a diversificação da cobertura vegetal e conseqüentemente da comunidade biológica da área (FAYAD *et al.*, 2018; VENTURA *et al.*, 2021).

As culturas de cobertura geralmente são selecionadas pela disponibilidade na propriedade ou época de plantio, e não se consideram as interações com a comunidade biológica do solo (GIOVANETTI *et al.*, 2019), ainda que os cultivos cresçam e se desenvolvam em relação com microrganismos do solo, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (BEGUM *et al.*, 2019).

Os FMA são onipresentes nos solos e se associam a mais de 80% de espécies vegetais. Nessa relação, ocorre a formação de estruturas fúngicas nas raízes da planta. Os arbúsculos, vesículas e hifas viabilizam a troca de nutrientes exigidos por ambos. Desta forma, o microrganismo aumenta a zona de absorção de nutrientes e água, permite melhor resposta a estresse bióticos e abióticos e promove o crescimento vegetal, e em troca a planta transfere fotoassimilados para o fungo completar o seu ciclo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Essa associação é afetada pelo manejo adotado no sistema de plantio (FERREIRA; CARNEIRO; JUNIOR, 2012) com destaque a escolha das espécies utilizadas no sistema, como as culturas de cobertura e os cultivos comerciais que representam os principais fatores que determinam a diversidade e distribuição destes fungos (MIRANDA; MIRANDA, 2007b).

Além da influência na diversidade da comunidade de FMA, as culturas de cobertura também podem afetar a distribuição dos propágulos fúngicos no agroecossistema (ANGELINI *et al.*, 2012). Ventura *et al.* (2021) analisaram o uso das

culturas de cobertura aveia-preta, centeio e nabo-forrageiro, consorciadas e solteiras antes do cultivo da cebola em SPDH, e observaram que os tratamentos com nabo-forrageiro, cultura não micotrófica, diminuíram significativamente a colonização total da cebola por FMA. Bortolini *et al.* (2021) encontraram valores superiores das frações de glomalina, glicoproteína produzida pelos FMA, nos tratamentos com a presença da aveia-preta, cultura micotrófica, e, diferença entre os tratamentos com culturas de cobertura e em sistema convencional.

No entanto, Heberle *et al.* (2015) ao avaliarem com a técnica molecular PCR-DGGE como espécies de cobertura (aveia-preta, ervilhaca e nabo-forrageiro, consorciadas e solteiras, e vegetação espontânea) antes do cultivo da mandioca afetavam a diversidade de FMA, não constataram diferença na comunidade FMA entre as culturas de cobertura, mas as culturas de cobertura incrementaram a diversidade dos fungos micorrízicos. Todavia, essa técnica de avaliação de comunidades limita a identificação das espécies de FMA (ØVREÅS *et al.*, 1997). Higo *et al.* (2019) ao analisarem o efeito do cultivo de azévem, ervilhaca-peluda e mostarda-oriental antes do cultivo de milho e soja, observaram que as culturas de cobertura afetaram a estrutura das comunidades de FMA presentes nas raízes dos cultivos comerciais. Ao identificar esta estrutura com o uso do sequenciamento genético, e os primers AMV4.5NF/AMDGR os autores identificaram 83 espécies de FMA. Isso reforça a importância do uso de técnicas com alta eficiência, de forma a aprimorar os levantamentos sobre a influência das práticas agrícolas na ecologia de FMA (LI *et al.*, 2010).

No SPDH, a influência na diversidade e estrutura dos FMA pode ser ainda mais frequente pelo uso da rotação contínua e planejada das espécies vegetais, o que indica a necessidade de atenção ao caráter micotrófico das espécies utilizadas no decorrer do tempo.

A partir desses trabalhos, a hipótese que fundamenta este estudo é que a característica micotrófica das culturas de cobertura e dos cultivos comerciais utilizados no sistema afetam a diversidade e a produção de propágulos da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares. Buscou-se elucidar como culturas de cobertura de caráter micotrófico (aveia-preta) e não micotrófico (nabo-forrageiro), solteiras e consorciadas, afetam a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares, utilizando-

se a caracterização genética e o número de propágulos fúngicos, a colonização micorrízica radicular e a produção das frações de glomalina, durante a sucessão de cultivos (culturas de cobertura de inverno e verão e o cultivo comercial da cebola) em SPDH.

## 6.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.2.1 Localização do experimento, histórico da área e práticas fitossanitárias

Este estudo foi conduzido concomitantemente com o Estudo 1 (item 5). A localização do experimento, histórico da área e práticas fitossanitárias constam no item 5.2.1. Para este estudo, foram incluídas também coletas na safra 2021/22. Os manejos foram os mesmos realizados na safra anterior. As propriedades químicas do solo em 2021 estão descritas na Tabela 11.

**Tabela 11.** Atributos químicos do solo (0-10 cm) na safra 2021/22 em experimento com cebola precedida de culturas de cobertura ou plantas espontâneas.

Trat.	pH	SMP	MO	P	K	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	SB
	H <sub>2</sub> O		%	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%		
AV	6,3	6,2	4,0	111	496	0	8,0	2,7	3,5	15,5	77	12,0
NF	6,2	6,2	3,3	91	316	0	8,4	2,5	3,7	15,4	76	11,7
AV + NF	6,3	6,2	3,7	91	504	0	9,1	2,9	3,6	16,8	79	13,3
TEST	6,3	6,2	3,5	118	508	0	8,9	3,0	3,8	17,0	77	13,2

Trat: tratamento; AV: aveia-preta; NF: nabo-forrageiro; TEST: testemunha; pH: Potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio (extraídos por Mehlich 1); Al: alumínio; Ca: cálcio; Mg: magnésio (trocáveis, extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); H+Al: acidez potencial; CTC: capacidade de troca catiônica (em pH 7,0); V: saturação por bases; SB: soma de bases.

### 6.2.2 Delineamento experimental

Este estudo fez o uso do mesmo delineamento experimental descrito no item 5.2.2. Entretanto, as análises ocorreram durante o ciclo das espécies de cobertura de inverno e verão e cultivo da cebola na safra 2020/21 e 2021/22 (Tabela 12).

**Tabela 12.** Coletas de campo realizadas no ano safra 2020/21 e 2021/22, dias após transplante (DAT) da cebola em cada safra.

<b>Ciclo da espécie de cobertura/Cebola</b>	<b>DAT (ano safra)</b>	<b>Variáveis</b>
Acamamento das espécies de cobertura/Transplante da cebola	0 (2020/21)	Colonização micorrízica radicular das culturas de cobertura e plantas espontâneas dominantes; Contagem de esporos; Potencial de inóculo; Caracterização genética da comunidade de FMA; Quantificação da glomalina.
Estabelecimento a campo da cebola	39 (2020/21)	Colonização micorrízica da cebola e plantas espontâneas dominantes; Contagem de esporos.
Bulbificação da cebola	85 (2020/21)	Colonização micorrízica radicular da cebola e plantas espontâneas dominantes; Contagem de esporos.
Colheita da cebola	116 (2020/21)	Colonização micorrízica radicular da cebola e plantas espontâneas dominantes; Contagem de esporos; Caracterização genética da comunidade de FMA; Quantificação da glomalina.
Final do ciclo da Mucuna (FCM)/plântio das plantas de cobertura de inverno	(2021/22)	Colonização micorrízica radicular da mucuna-preta; Contagem de esporos; Caracterização genética da comunidade de FMA; Quantificação da glomalina.

Acamamento das espécies de cobertura/Transplante da cebola	0 (2021/22)	Colonização micorrízica radicular das culturas de cobertura e plantas espontâneas dominantes; Contagem de esporos; Potencial de inóculo; Caracterização genética da comunidade de FMA; Quantificação da glomalina.
Bulbificação da cebola	85 (2021/22)	Colonização micorrízica radicular da cebola; Contagem de esporos.
Colheita da cebola	116 (2021/22)	Colonização micorrízica radicular da cebola; Contagem de esporos; Caracterização genética da comunidade de FMA; Quantificação da glomalina.

### 6.2.3 Coleta e contagem de esporos

Em cada parcela útil fixa (item 5.2.4) foi coletada uma amostra de solo (200 gramas) de acordo com metodologia proposta por TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) (ANDERSON; INGRAM, 1993). As amostras foram coletadas na camada de 0 a 10 cm (HART *et al.*, 2015) na semeadura das espécies de cobertura/fim do ciclo da mucuna-preta (FCM) (safra 2021/22), transplante da cebola (safra 2020/21 e 2021/22), 39 DAT (safra 2020/21) 85 DAT (safra 2020/21 e 2021/22) e 116 DAT (safra 2020/21 e 2021/22). As amostras foram mantidas a 4°C até o processamento.

A extração de esporos de FMA foi realizada pela técnica de peneiramento úmido em amostras de 50 cm<sup>3</sup> (GERDEMANN; NICOLSON, 1963). Cada amostra foi colocada em balde com água, agitada para a suspensão e vertida em peneiras superpostas, com malha de 710 e 53 µm. O material retido na peneira inferior (53 µm) foi transferido para tubos de polipropileno de 50 mL e adicionaram-se 40 mL de água.

O material foi centrifugado por três minutos a 706 g e posteriormente em gradiente de densidade com água e sacarose (45%), com centrifugação por 2 minutos a 314 g. O sobrenadante, nas duas centrifugações foi vertido em peneira de 53  $\mu\text{m}$  e o material foi transferido a placas de Petri caneladas para contagem de esporos em estereomicroscópio (JÚNIOR *et al.*, 2011).

#### **6.2.4 Colonização micorrízica**

No final do ciclo da mucuna-preta, corte das culturas de cobertura de inverno foram coletadas, ao acaso, duas plantas de cada espécie de cobertura dentro de cada parcela. Na testemunha, foram coletadas as raízes das duas plantas dominantes. No ciclo da cebola, 39 DAT (ano safra 2020/21), 85 e 116 DAT (ano safra 2020/21 e 2021/22), coletaram-se duas plantas de cebola ou das plantas espontâneas dominantes no momento da amostragem (ano safra 2020/21).

As plantas foram cuidadosamente destacadas do solo para manter a integridade física do sistema radicular, que foi posteriormente separado da parte aérea. As raízes foram dispostas em sacos plástico, transportadas em caixas térmicas e armazenadas a 4°C até o processamento em laboratório.

As raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente sobre peneira de 10 mesh (2 mm), clareadas com em hidróxido de potássio (KOH) 10%, tratadas com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 10%, enxaguadas em água destilada, acidificadas com ácido clorídrico (HCl) 1% e coradas com azul de tripano 0,05%. Na montagem das lâminas para avaliação da percentagem de colonização, 20 fragmentos de raízes com cerca de 2,0 cm foram dispostos em lâminas contendo solução de álcool-polinivílico em lactoglicerol (PVLG), e foram sobrepostas lamínulas. A avaliação foi realizada pela técnica de contagem de interseções, por meio da observação de estruturas específicas, como arbúsculos, vesículas e hifas em microscópio óptico (MCGONIGLE *et al.*, 1990) com aumento de 400x. Foram analisadas duas lâminas por amostra e 100 interseções por lâmina.

### 6.2.5 Glomalina facilmente extraível (GTE) e total (GT) do solo

As frações de glomalina facilmente extraível (GTE) e glomalina total (GT) foram quantificadas no FCM (safra 2021/22), 85 DAT (safra 2020/21 e 2021/22) e 116 DAT (safra 2020/21) conforme Wright e Upadhyaya (1998). Para quantificação de GTE, amostras de 1,0 g de solo finas secas ao ar (TFSA), peneiradas em 10 mesh, foram dispostas em tubos Falcon de 15 mL com 8,0 mL de citrato de sódio (20 mM L<sup>-1</sup>), autoclavados a 121°C por 30 minutos e centrifugados a 4500 g por 10 minutos. O sobrenadante foi recolhido e mensurado com reagente de Bradford em espectrofotômetro a 590 nm. O padrão foi preparado com albumina bovina sérica como padrão.

A quantificação de GT foi conduzida nas mesmas condições que GTE, exceto pela concentração de citrato de sódio (50 mM L<sup>-1</sup>) e tempo de autoclavagem de uma hora. Além disso, foram necessários vários ciclos de autoclavagem (quatro, para as condições deste experimento) até a extração total, indicada pela coloração amarelo claro homogênea das amostras (JÚNIOR *et al.*, 2021b).

O conteúdo de GTE foi determinado após o primeiro ciclo de autoclavagem e GT corresponde soma das sucessivas autoclavagens. As concentrações de glomalina foram corrigidas para mg.g<sup>-1</sup> de solo, ao considerar o volume total de sobrenadante e o peso seco do solo.

### 6.2.6 Potencial de inóculo do solo

O potencial de inóculo de FMA foi determinado pela técnica do número mais provável (NMP) (PORTER, 1979; FELDMANN; IDCZAK, 1994). Foram coletadas amostras de cerca de 300 gramas de solo de cada parcela útil no transplante da cebola (0-10 cm) (safra 2020/21 e 2021/22). As amostras foram transportadas ao laboratório em caixas térmicas e mantidas a 4°C até processamento.

O solo (inóculo) foi diluído nas proporções de 1, 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup> (inóculo:diluyente, v:v), com o uso de uma alíquota de 90 mL do inóculo e 810 mL de substrato constituído de areia e vermiculita estéril (1:1, v:v). As amostras diluídas foram acondicionadas em tubetes de 150 mL (5 repetições de cada série), semeadas

com braquiária (*Urochloa decumbens*) como cultura armadilha cultivada em casa de vegetação. As amostras foram irrigadas uma vez por semana com 20 mL de água a cada dois dias e, com solução de Hoagland e Arnon modificada por Jarfster e Sylvia (1995).

Após 40 dias, o sistema radicular foi retirado cuidadosamente e submetido à clarificação, conforme descrito no item 6.2.4. Posteriormente, todo o material radicular coletado foi analisado em estereomicroscópio pela técnica de interseção das linhas cruzadas (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980). Foi registrada a presença de estruturas fúngicas (hifas, arbúsculos e vesículas), se existente a amostra foi categorizada como positivo (+). Em posse do número de amostras positivas, foi inferido o número mais provável (NMP) de propágulos ( $\text{cm}^{-3}$  de solo) com o intervalo de confiança com o auxílio da tabela de NMP (COCHRAN, 1950).

### **6.2.7 Caracterização genética da comunidade de FMA por sequenciamento de nova geração (NGS)**

No FCM (ano safra 2021/22), corte das plantas de cobertura de inverno (ano safra 2020/21 e 2021/22) e 116 DAT (ano safra 2020/21), foram coletados 20 gramas de solo rizosférico aderido ao sistema radicular das plantas presentes em cada amostragem, em cada parcela útil. Esse material foi acondicionado em sacos plásticos e levados a laboratório em caixa térmica e estocadas a  $-80^{\circ}\text{C}$  para posterior caracterização da comunidade de FMA.

A extração do DNA total do solo, verificação da qualidade, amplificação e sequenciamento foi realizado pela empresa NGS Soluções Genômicas (Piracicaba, SP). Para isso, o DNA foi extraído a partir de 0,25 gramas de solo com o kit DNeasy PowerSoil (QIAGEN, Hilden, Alemanha), eluído em 50  $\mu\text{L}$ , em triplicata, de acordo com as instruções do fabricante. A qualidade do DNA extraído foi verificado com o espectrofotômetro NanoDrop Lite da Thermo Scientific.

A amplificação da região 18S foi realizada com o uso da técnica de nested-PCR, os primers utilizados no primeiro ciclo foram NS31 (5' GAA CCC AAA CAC TTT GGT TTC C 3') (SIMON; LALONDE; BRUNS, 1992) / AML2 (5' GAA CCC AAA CAC TTT GGT TTC C 3') (LEE; LEE; YOUNG, 2008), com o uso de 1  $\mu\text{L}$  de DNA + 0,2  $\mu\text{M}$



de cada primer + 10,0 µL de 2x PCRBio Ultra Mix (PCRBiosystems) e água ultra pura para completar um volume final de 25 µL.

A reação foi conduzida em termociclador com a desnaturação inicial por dois minutos a 94°C, seguido de 33 ciclos de 30 segundos a 94°C, para desnaturação, 30 segundos à 65°C para anelamento e 40 segundos a 72°C para extensão e por fim uma etapa por 10 minutos a 72°C para extensão final (MORGAN; EGERTON-WARBURTON, 2017). Esse material foi purificado com AMPure (Beckman Coulter, California, Estados Unidos da América).

Posteriormente foi realizada uma segunda reação com os iniciadores AMV4.5NF (5'AAG CTC GTA GTT GAA TTT CG 3') / AMDGR (5' CCC AAC TAT CCC TAT TAA TCA T 3') (GELL *et al.*, 2014), com o uso de 1 µL do produto da PCR acima (NS31/AML2) + 0,2 µM de cada primer + 10,0 µL de 2x PCRBio Ultra Mix (PCRBiosystems) e água ultra pura para completar um volume final de 25 µL. O termociclador foi regulado para conduzir por dois minutos a 95°C, 28 ciclos de 30 segundos a 95°C, 30 segundos a 58°C, 40 segundos a 72°C e finalmente disposto por dez minutos a 72°C (SATO *et al.*, 2005), então o produto foi purificado.

Para a reação da ligação dos adaptadores, foram usados 2,5 µL do produto da PCR (AMV4/AMDGR), 2,5 µL de cada adaptador (Nextera XT *Index Primer 1* (N7xx) e Nextera XT *Index Primer 2* (S5xx), 12,5 µL de 2x PCRBio Ultra Mix (PCRBiosystems) e água ultra pura para completar um volume final de 25 µL. Em termociclador, a solução foi disposta por três minutos a 95°C, oito ciclos de 30 segundos a 95°C, 30 segundos a 55°C, 30 segundos a 72°C e por fim cinco minutos a 72°C. Novamente, este produto foi purificado.

Após a quantificação do produto da segunda PCR em NanoDrop, as amostras foram diluídas para uma mesma concentração.

A comunidade de FMA foi caracterizada com o uso do sequenciamento de nova geração (NGS) (Illumina MiSeq) 2x250 pb com média de cobertura de 10.000 leituras por amostra (VASAR *et al.*, 2017).

A análise bioinformática foi conduzida no laboratório de Ecologia do Solo na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Ciências Agrárias (CCA) em Florianópolis (SC). Os dados foram processados no programa QIIME 2 v.2020.8 (PAUVERT *et al.*, 2019). Os primers foram removidos com *cutadapt*. As leituras

costuradas com *pear*, então otimizadas e as quimeras filtradas com *dada2 denoise-paired*.

As OTUS foram analisadas com o uso da base de referência Maarj AM (<http://maarjam.botany.ut.ee/>) (HART *et al.*, 2015) versão 2019.

### 6.2.8 Análises estatísticas

Os dados referentes a número de esporos, colonização radicular das culturas de cobertura de inverno, verão e cebola, glomalina facilmente extraível e glomalina total foram submetidos ao teste de Bartlett para avaliação da homogeneidade de variância ( $p < 0,05$ ) e teste de Shapiro-Wilk para normalidade ( $p < 0,05$ ). Caso identificada a não homogeneidade, foram transformados por  $(x+1)^{0,5}$  e novamente submetido aos testes de homogeneidade de variância e normalidade.

Após homogeneidade e normalidade verificada, foi realizada análise de variância (ANAVA) ( $p < 0,05$ ) e, quando houve efeito significativo, as médias foram separadas pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

Fez-se uso de estatística qualitativa com abordagem descritiva para a descrição da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares, colonização radicular das plantas espontâneas dominantes e número de propágulos fúngicos. Foram construídos gráficos circulares (“pizza”) com distribuição das OTUs em gêneros de FMA encontrados por avaliação. A abundância relativa foi representada com o uso de barras empilhadas.

Foi construída uma árvore filogenética entre os OTU encontrados (>97% de similaridade) para melhor compreender a proximidade das espécies.

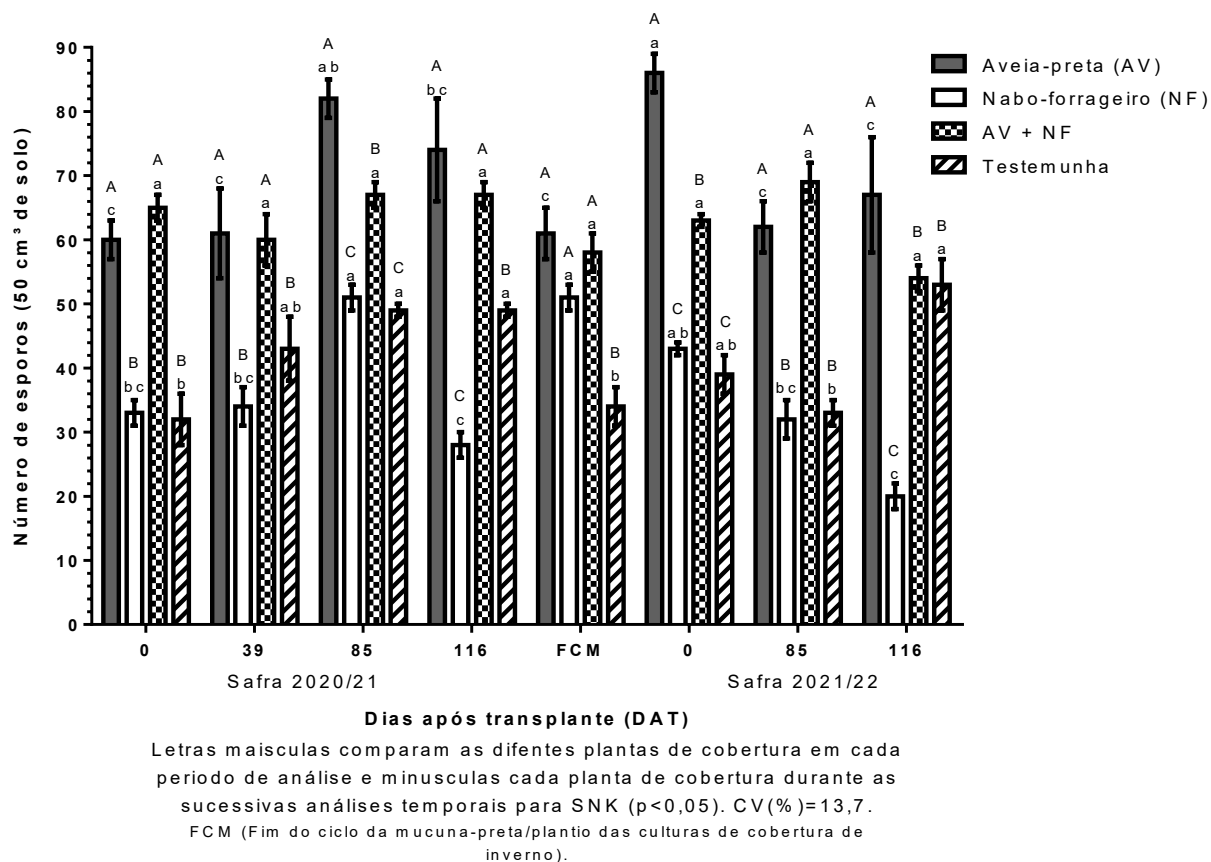
Realizou-se a análise de variância multivariada de permutacional (PERMANOVA) entre os tratamentos e os tempos de análise, com o uso de dissimilaridade de Bray-Curtis para dados de abundância de sequências genéticas (CLARKE, 1993). A homogeneidade foi analisada pelo teste de dispersão permutacional (PERMIDISP) (ANDERSON; ELLINGSEN; MCARDLE, 2006). Foi utilizada a análise de componentes principais (PCoA) para verificar padrões de agrupamento.

Os testes foram realizados com auxílio do software R 4.1.2 (R CORE TEAM, 2003). Os gráficos de barras com erro padrão (estatística descritiva) e circular foram construídos no software GraphPad Prism 6, com exceção da abundância relativa que foi desenvolvida na plataforma MicrobiomeAnalyst.

## 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.3.1 Coleta e contagem de esporos

Neste estudo entre os diferentes tratamentos durante o ciclo das culturas de cobertura de inverno, verão e a cebola ocorreu variação de 60 a 86, 20 a 51, 54 a 69 e 32 a 53 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo para aveia-preta, nabo-forageiro solteiros, aveia-preta + nabo-forageiro consorciados e testemunha, respectivamente. Houve diferença para ambos os fatores, tratamento e período de análise, como se observa na Figura 5. Esporos de FMA são estruturas com vários núcleos, formados pela reprodução assexuada desses microrganismos. Considerados propágulos fúngicos essenciais para estabelecer a simbiose entre a planta e o fungo, visto que, a partir da sinalização química germinam e emitem hifas para iniciar a simbiose, assim, quanto maior o número de esporos viáveis no solo, maior será a propagação destes fungos no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).



**Figura 5.** Número de esporos ( $50 \text{ cm}^3$  de solo) em sistema conduzido com diferentes culturas de cobertura de inverno (tratamentos), cebola e mucuna-preta em SPDH, avaliado em diferentes períodos.

Em todos os períodos de análise, com exceção do corte da mucuna-preta (FCM), os tratamentos com a presença da aveia-preta, espécie micotrófica (LERMEN *et al.*, 2012), apresentaram mais esporos que nos tratamentos com nabo-forrageiro, espécie não micotrófica (MIRANDA *et al.*, 2001). Isso indica que o caráter micotrófico das espécies utilizadas afeta a produção de propágulos fúngicos do solo, neste caso, esporos. O enriquecimento do solo a partir de propágulos de microrganismos, como os FMA, ocasiona diversos benefícios como ciclagem de nutrientes, resistência a estresses bióticos e abióticos e melhor aquisição de água e nutriente e, para Souza, Schlemper e Stürmer (2017) são essenciais para a agricultura sustentável.

No levantamento de número de esporos após o cultivo de diferentes culturas de cobertura, entre elas, aveia-preta e nabo-forrageiro, Gomide *et al.* (2009)

observaram que a espécie micotrófica produziu 113 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo, com diferença em comparação a área com nabo-forrageiro. Todavia, após o cultivo de *Urochloa decumbens*, micotrófica, esse número foi modificado para 76 e 139 esporos, na área aveia-preta e nabo-forrageiro, respectivamente, mas não houve diferença entre os tratamentos. Isso demonstra a importância da espécie cultivada, com destaque ao caráter micotrófico, para aumentar o número de esporos do solo.

A cebola forma micorriza (SIQUEIRA; FRANCO, 1988) e durante o ciclo, com relação ao número de esporos, manteve-se o padrão de comportamento do momento do acamamento da planta de cobertura, ou seja, menor número de esporos no tratamento com nabo-forrageiro solteiro, não micotrófico, em comparação aos com a presença da aveia-preta, espécie micotrófica.

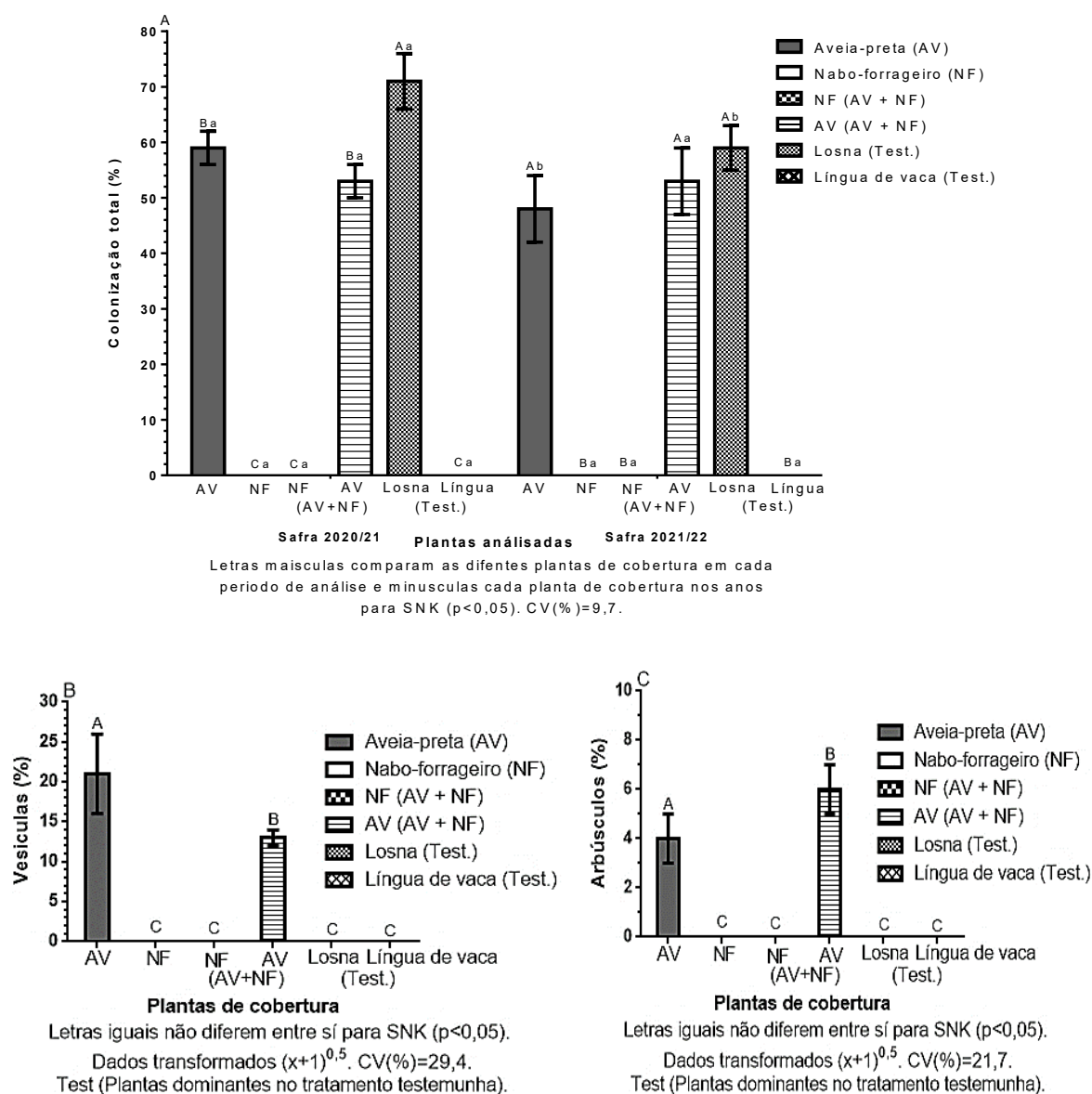
A maior produção de propágulos durante o ciclo da cebola, foi nos momentos da bulbificação e colheita da olerícola em ambos os anos (85 e 116 DAT, respectivamente), com exceção do nabo-forrageiro. Isso pode decorrer da maior atuação do fungo na etapa de formação dos bulbos, período em que a planta apresenta maior dependência da relação fonte:dreno (TAIZ; ZIEGER, 2009) e da maior produção de propágulos pelos fungos, desencadeada pelos sinais da planta produzidos no fim do ciclo da cebola (SOUZA *et al.*, 2006).

O cultivo após a cebola em todos os tratamentos foi a mucuna-preta, espécie micotrófica (PEREIRA; GIONGO; LIMA, 2021). Esta planta, no fim do seu ciclo (FCM), aumentou o número de esporos no tratamento com histórico de nabo-forrageiro, que neste momento, não diferiu dos tratamentos com aveia-preta. Esses dados corroboram os resultados por Souza *et al.* (1999) que testaram diferentes culturas de cobertura, entre elas, a mucuna-preta, e concluíram que o uso de espécies micotróficas em rotação é um manejo viável para recuperar o potencial de propágulos da área.

### **6.3.2 Colonização micorrízica das culturas de cobertura de inverno**

A colonização radicular micorrízica total e a taxa por estruturas formadas no interior das raízes pela simbiose micorrízica observadas nas culturas de cobertura de

inverno nas safras 2020/21 e 2021/22 estão dispostas na Figura 6. A colonização total apresentou diferença entre os tratamentos e anos e as vesículas e arbúsculos apenas entre os tratamentos. Em ambos os anos o nabo-forageiro, solteiro ou consorciado, e a planta espontânea língua-de-vaca não apresentaram colonização micorrízica. Essas espécies são consideradas não micotróficas, como demonstram Miranda *et al.* (2001) e Harley e Smith (1983) para nabo-forageiro e língua-de-vaca, respectivamente.



**Figura 6.** Colonização total (A), Vesículas (B) e Arbúsculos (C) em raízes (%) de diferentes culturas de cobertura de inverno e plantas espontâneas no corte das culturas de cobertura em diferentes safras em SPDH.

O tratamento com aveia, consorciado ou solteiro, não apresentou diferença na colonização radicular total dentro dos anos (Figura 6A), mas a colonização por vesículas (Figura 6B) e arbúsculos (Figura 6C) apresentou diferença entre presença e ausência de nabo-forrageiro. O tratamento consorciado apresentou maior colonização por arbúsculos e menor por vesículas, em comparação à aveia-preta solteira. Provavelmente, isso se deve ao efeito do nabo-forrageiro sobre a aveia, uma vez que sua alta capacidade de ciclagem de nutrientes e liberação de nutrientes essenciais no solo, como P, à cultura subsequente (HEINZ *et al.*, 2011), pode ter favorecido a troca de nutrientes entre a aveia-preta e o fungo, sem armazenamento de nutrientes na vesícula (CRUSCIOL *et al.*, 2005).

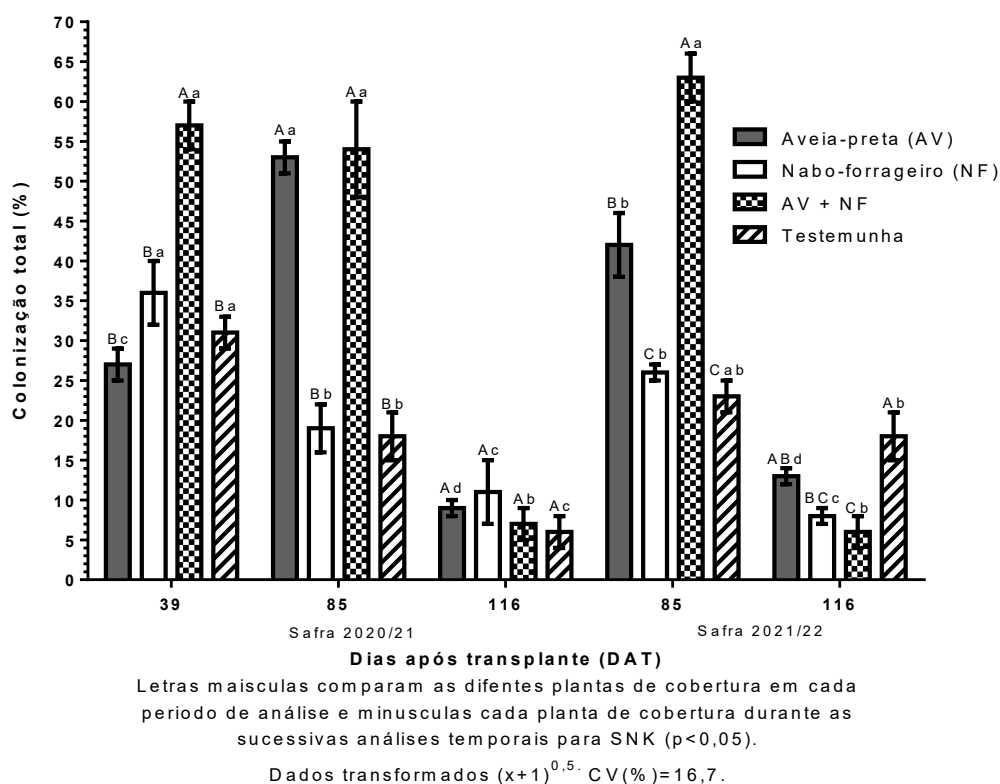
Neste experimento, a losna foi a planta espontânea que apresentou maior colonização total no momento do corte das culturas de cobertura, representada pela presença de hifas, com destaque para a safra 2020/21 (Figura 6A). Essa espontânea arbustiva de pequeno porte tem grande capacidade de dispersão (FORMIGHEIRI *et al.*, 2018), pertence à família Asteraceae, que tem caráter micotrófico (SANTOS *et al.*, 2013a). Entretanto não se encontraram vesículas e arbúsculos em ambas as safras (Figura 6B e 6C, respectivamente). Esse comportamento vai de encontro ao exposto por Carrenho *et al.* (2007) que destacam que esta espécie forma muitos arbúsculos. Entretanto, a formação desta estrutura é dependente da espécie de FMA que coloniza a espécie vegetal e condições edafoclimáticas (BERBARA; SOUZA; FONSECA, 2006) uma vez que sua formação está relacionada à interação genética e funcional entre o fungo e a planta hospedeira (HARRISON, 1999). A alta taxa de colonização total pode ser relacionada ao hábito de crescimento desta planta, que é rasteiro e com rizomas, representado por vários indivíduos, que promovem um ambiente propício para os FMA (CARDOSO; ANDREOTTE, 2016).

### **6.3.3 Colonização micorrízica da cebola**

A cebola é uma hortaliça que possui sistema radicular concentrado na parte superficial do solo, do tipo fasciculado e com raízes adventícias (FAYAD *et al.*, 2018). Tal limitação destaca a importância da associação com fungos micorrízicos

arbusculares para o melhor desenvolvimento da cultura, visto o caráter micotrófico que possui (VENTURA *et al.*, 2021).

A colonização micorrízica total da cebola (Figura 7) teve diferenças entre os tratamentos e tempos de análise. As maiores taxas de colonização total ocorreram no estabelecimento da planta a campo (39 DAT) e na bulbificação (85 DAT), e baixaram na colheita (116 DAT) na safra 2020/21, para todos os tratamentos. Isso também foi observado entre a bulbificação e a colheita na safra 2021/22, com exceção da testemunha.



**Figura 7.** Colonização total em raízes (%) de cebola em SPDH após o cultivo de distintas culturas de cobertura solteiras ou consorciadas e testemunha em diferentes períodos de análise.

No estabelecimento a campo (39 DAT), na quinta semana após transplante das mudas, que corresponde ao estágio vegetativo até o início da bulbificação, a cebola teve a maior colonização no tratamento com consórcio de aveia-preta + nabo-forageiro, provavelmente pela maior disponibilidade de nutrientes e estruturação do

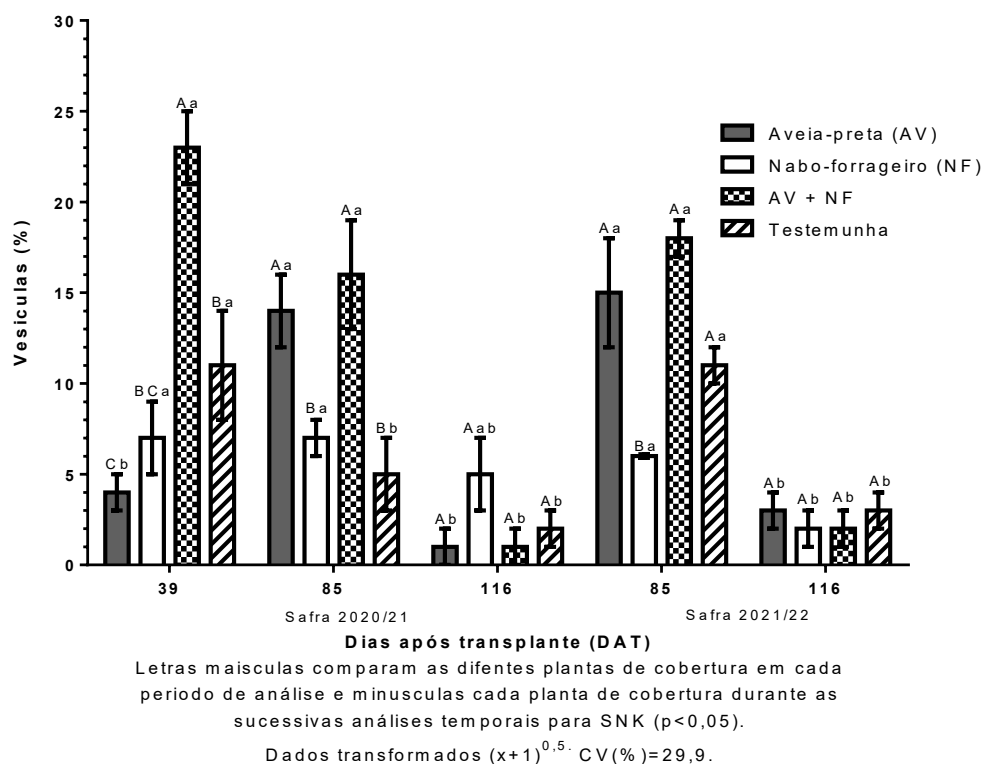


solo promovidas pelo uso das duas espécies em conjunto. Ramos *et al.* (2012) observaram que o consórcio de diferentes plantas antes de cultivos comerciais promove maior colonização da planta principal, o que também foi observado por Heberle *et al.* (2015).

Entre o estabelecimento a campo e a bulbificação na safra 2020/21 (39 e 85 DAT, respectivamente), houve redução na taxa de colonização total nas raízes da cebola em todos os tratamentos, com exceção dos que possuíam aveia-preta. Esse comportamento provavelmente se deve à disponibilização lenta dos nutrientes oriundos da aveia-preta, que possui alta relação C:N (CRUSCIOL *et al.*, 2008) e assim, afeta a colonização da planta pelos FMA (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Em ambas as safras, houve redução na taxa de colonização radicular total entre o período de bulbificação e a colheita (85 e 116 DAT, respectivamente) em todos os tratamentos, com exceção da testemunha, que não diferenciou entre a bulbificação e a colheita na safra 2021/22. Santos *et al.* (2013b), observaram que a mandioca teve maior colonização radicular ao ser cultivada após aveia-preta + ervilhaca em comparação a testemunha, ervilhaca e nabo-forageiro solteiros, e que no decorrer do tempo deste cultivo a porcentagem de colonização teve redução significativa no fim do ciclo, como observado neste experimento.

A colonização por vesículas nas raízes de cebola (Figura 8) foi significativamente maior no tratamento consorciado AV+NF que os demais nos períodos de estabelecimento a campo (39 DAT) na safra 2020/21, e se equiparou com a aveia-preta solteira nas outras avaliações. Tal comportamento pode estar relacionado à decomposição inicial do nabo-forageiro. Os tratamentos com esta planta solteira e a testemunha não diferiram entre si em nenhum dos períodos avaliados, com exceção do período de bulbificação na safra 2021/2022, em que o nabo-forageiro solteiro apresentou menor colonização por vesículas que a testemunha. Isso se deve provavelmente à presença de plantas espontâneas micotróficas neste ambiente, como observado na caracterização florística presente no primeiro estudo desta dissertação.

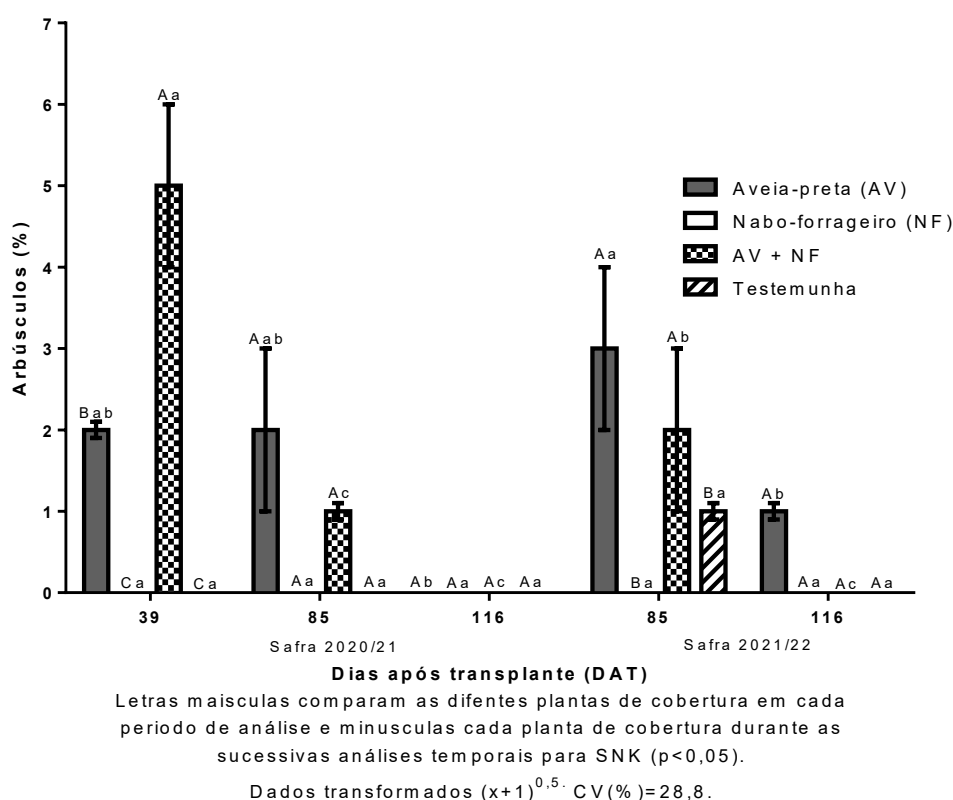


**Figura 8.** Frequência de ocorrência de vesículas em raízes (%) de cebola em SPDH, em diferentes períodos, após o cultivo de distintas culturas de cobertura solteiras ou consorciadas e testemunha.

A cebola antecedida pelo nabo-forageiro apresentou menor índice de ocorrência de vesículas em todos os períodos, com exceção da colheita (116 DAT) na safra 2020/21 e 2021/22, entretanto não se diferenciou entre os tratamentos nesses tempos, que também tiveram redução desta estrutura (Figura 8). Esse comportamento pode estar relacionado à diminuição de propágulos pela presença de cultivo não micotrófico na rotação de culturas (GOMIDE *et al.*, 2009).

A ocorrência de arbúsculos (Figura 9), principal estrutura formada entre a planta e o FMA e responsável pela transferência de nutrientes e ação da simbiose (BARKER; TAGU; DELP, 1998), foi observada na cebola apenas nos tratamentos com aveia-preta, consorciado ou solteiro, desde o estabelecimento a campo à bulbificação (39 e 85 DAT, respectivamente), com exceção da testemunha na bulbificação (safra 2021/22). Porém, no período de colheita (116 DAT) na safra 2021/22 apenas o tratamento solteiro de aveia apresentou arbúsculos. Isso se deve provavelmente ao

período de maior necessidade da hortaliça, tanto pelo crescimento vegetativo (estabelecimento a campo, 39 DAT) como pela relação fonte:dreno para a formação dos bulbos (bulbificação, 85 DAT) (KURTZ *et al.*, 2016), pelo histórico da área e presença de espécies micotróficas, ou ainda pela taxa de decomposição e liberação de nutrientes para o solo, uma vez que a aveia libera lentamente os nutrientes em decorrência da sua alta relação C:N (>40:1) (HEINZ *et al.*, 2011).



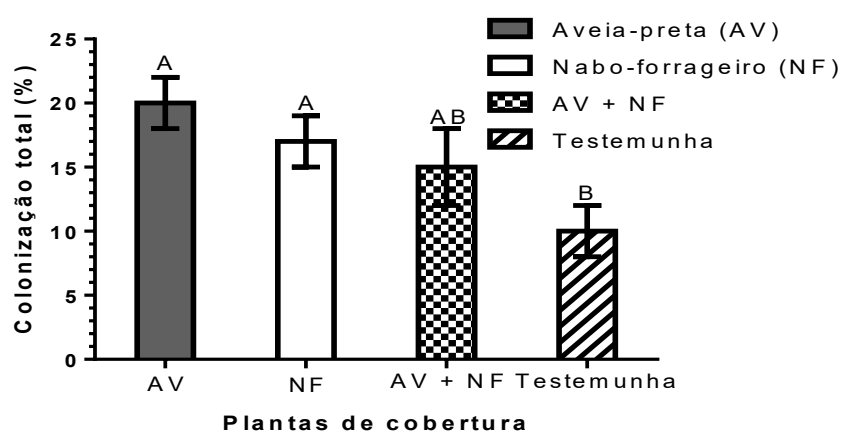
**Figura 9.** Frequência de ocorrência de arbúsculos em raízes (%) de cebola em SPDH, em diferentes períodos, após o cultivo de distintas culturas de cobertura solteiras ou consorciadas e testemunha.

Em suma, havia colonização micorrízica na cebola durante todo o seu ciclo. Essa planta tem o fósforo (P) como macronutriente de maior acúmulo nos bulbos (KURTZ *et al.*, 2016) e apresenta sistema radicular superficial, fasciculado e sem pelos radiculares, o que limita a absorção deste elemento (FAYAD *et al.*, 2019). Por isso, os FMA são essenciais para a absorção deste elemento para essa espécie vegetal, e

neste estudo a colonização foi observada mesmo em áreas com teores muito altos de P (SBCS, 2016) (Tabela 1 e 11 para a safra 2020/21 e 2021/22, respectivamente), o que indica a importância desses organismos para esta hortaliça. Contudo, culturas de cobertura, micorrízicas ou não micorrízicas, tiveram efeito significativo na taxa de colonização, associado à taxa de decomposição da espécie vegetal. Dessa forma, ao implementar o SPDH para o cultivo da cebola é importante levar em consideração a taxa de decomposição e o caráter micorrízico das culturas de cobertura.

#### 6.3.4 Colonização micorrízica da mucuna-preta (planta de cobertura de verão)

A taxa de colonização radicular micorrízica total (%) da mucuna-preta nos tratamentos consorciados e solteiros de aveia-preta e nabo-forrageiro não diferiram entre si. No entanto, os tratamentos em que estas espécies foram cultivadas solteiras diferiram da testemunha (Figura 10). Isso indica ação da mucuna-preta, espécie micorrízica (PEREIRA; GIONGO; LIMA, 2021) na recuperação de áreas com histórico de espécies não micorrízicas, isso também é corroborado pela maior produção de esporos neste tempo (Figura 5). Ao avaliar a colonização pela formação de vesículas e arbúsculos não foi encontrada diferença entre os tratamentos avaliados.



Letras iguais não diferem entre si para SNK ( $p < 0,05$ ). Dados transformados  $(x+1)^{0,5}$  CV(%)=10,9.

**Figura 10.** Colonização total em raízes (%) de mucuna-preta antecedita pela cebola, cultivada após diferentes culturas de cobertura.

### 6.3.5 Colonização micorrízica das plantas espontâneas dominantes

A taxa de colonização micorrízica radicular das plantas espontâneas dominantes foi, de maneira geral, maior no estabelecimento a campo (39 DAT) e bulbificação (85 DAT) e menor na colheita (116 DAT), como se observa na Tabela 13. Esse comportamento pode estar relacionado ao fim do ciclo da hortaliça e também a redução dos propágulos fúngicos neste momento, como observado no número de esporos (Figura 5).

**Tabela 13.** Taxa de colonização micorrízica radicular (%) (total, vesículas e arbúsculos) das plantas espontâneas dominantes durante o ciclo da cebola em SPDH antecedida por diferentes culturas de cobertura na safra 2020/21 em diferentes períodos.

<b>Espécie dominante</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Colonização total</b>	<b>Vesículas</b>	<b>Arbúsculos</b>
(%) <sup>1</sup>				
Estabelecimento a campo (39 DAT)				
<i>A. strigosa</i>	AV	36 (±3)	2 (±1)	0 (±0)
<i>A. verlotorum</i>		20 (±2)	2 (±2)	0 (±0)
<i>A. verlotorum</i>	NF	6 (±1)	0 (±0)	0 (±0)
<i>R. obtusifolius</i>		0 (±0)	0 (±0)	0 (±0)
<i>A. strigosa</i>	AV + NF	39 (±4)	10 (±4)	0 (±0)
<i>R. obtusifolius</i>		0 (±0)	0 (±0)	0 (±0)
<i>A. verlotorum</i>	Testemunha	33 (±3)	0 (±0)	0 (±0)
<i>R. obtusifolius</i>		0 (±0)	0 (±0)	0 (±0)
Bulbificação (85 DAT)				
<i>N. physalodes</i>	AV	29 (±4)	6 (±2)	0 (±0)
<i>S. oleraceus</i>		39 (±5)	0 (±0)	0 (±0)
<i>D. sanguinalis</i>	NF	8 (±2)	1 (±1)	0 (±0)
<i>G. quadriradiata</i>		7 (±1)	0 (±0)	0 (±0)
<i>D. sanguinalis</i>	AV + NF	34 (±2)	5 (±1)	0 (±0)
<i>S. oleraceus</i>		48 (±10)	11(±5)	0 (±0)

<i>D. sanguinalis</i>	Testemunha	27 ( $\pm 4$ )	11 ( $\pm 4$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>A. verlotorum</i>		44 ( $\pm 7$ )	18 ( $\pm 4$ )	0 ( $\pm 0$ )
Colheita (116 DAT)				
<i>D. horizontalis</i>	AV	2 ( $\pm 1$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>A. verlotorum</i>		8 ( $\pm 2$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>D. sanguinalis</i>	NF	11 ( $\pm 4$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>D. horizontalis</i>		5 ( $\pm 1$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>D. sanguinalis</i>	AV + NF	4 ( $\pm 1$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>D. horizontalis</i>		6 ( $\pm 1$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>D. sanguinalis</i>	Testemunha	2 ( $\pm 1$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )
<i>D. horizontalis</i>		10 ( $\pm 1$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )

DAT: Dias após transplante; AV: Aveia-preta; NF: Nabo-forrageiro. <sup>1</sup>Todas as médias são seguidas pelo erro padrão respectivo.

Todas as plantas espontâneas consideradas dominantes neste experimento (Figura 1, 2 e 3) possuem caráter micotrófico, com exceção da língua-de-vaca, que foi dominante nos tratamentos com a presença de nabo-forrageiro em 39 DAT. Essa espécie não tinha estrutura fúngica característica (hifa, vesícula, arbúsculo) em seu sistema radicular, como já era esperado, visto que não forma micorriza (VAVOTEC; JORDAN; HUERD, 2005). Em nenhuma espécie foi observada a formação de arbúsculos, o que pode estar relacionado as condições ambientais, as plantas espontâneas (SANTOS *et al.*, 2013a) e aos fungos micorrízicos arbusculares presentes (SILVA; LIMA; LOPES, 2021).

No estabelecimento a campo (39 DAT) foi observada colonização micorrízica na aveia-preta, Poaceae micotrófica, considerada espontânea neste momento e na losna, Asteraceae, que possui alto potencial para colonização (CARRENHO *et al.*, 2007). Nos tratamentos de aveia-preta solteira e em consórcio, foi observado a presença de vesículas, principalmente na *A. strigosa* como espontânea. Isso pode estar relacionado ao maior número de propágulos e à degradação mais lenta da biomassa, o que promove condições para a formação de vesículas (JÚNIOR *et al.*, 2018).

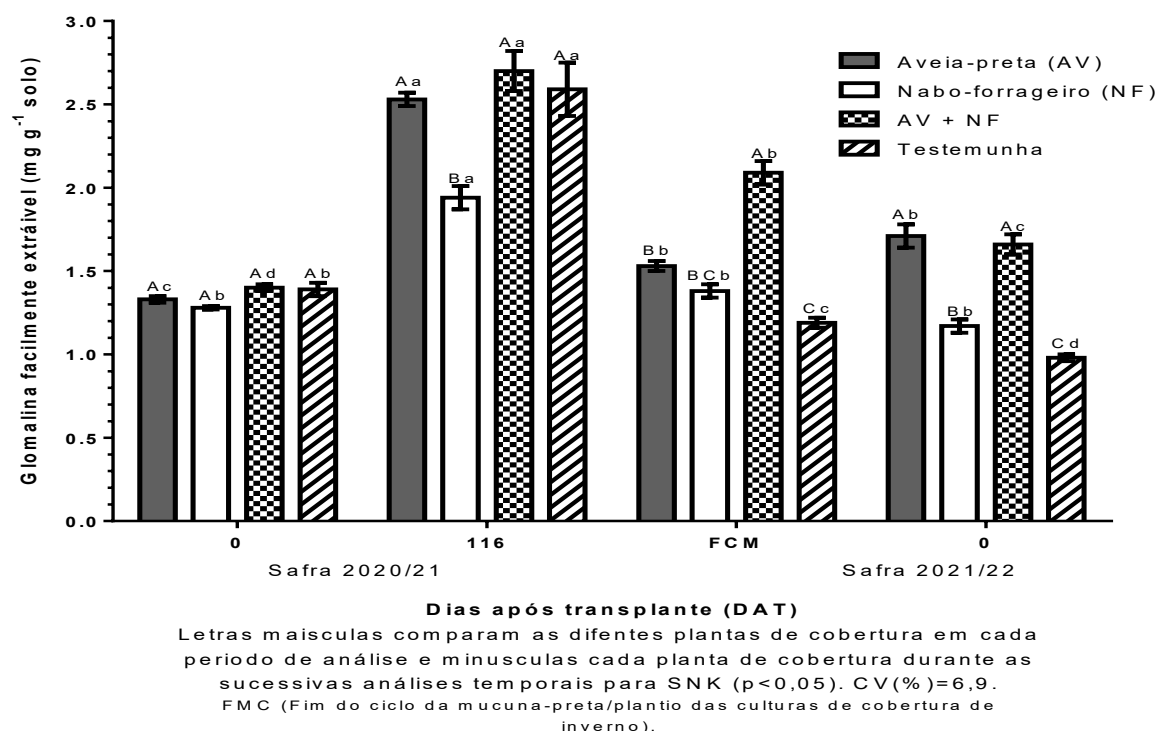
Na bulbificação (85 DAT) as plantas espontâneas de caráter micotrófico consideradas dominantes no tratamento nabo-forrageiro solteiro apresentaram taxa

menor de colonização total, em comparação aos outros tratamentos. Isso pode estar relacionado ao menor número de esporos neste tratamento (Figura 5) e consequente menor colonização.

Na colheita (116 DAT) houve redução geral da colonização total e não foram encontradas vesículas em nenhuma espécie.

### **6.3.6 Glomalina facilmente extraível (GFE) e total (GT) do solo**

O teor da fração de glomalina facilmente extraível (GFE) foi influenciado pelas culturas de cobertura no inverno e pelo período da análise durante a rotação das culturas (Figura 11). No período de acamamento das culturas de cobertura na safra 2020/21 (0 DAT) não foi observada diferença no teor da GFE entre os tratamentos. Entretanto, nesse mesmo período na safra 2021/22, o tratamento com nabo-forageiro solteiro apresentou os menores teores de GFE, comparado aos demais tratamentos com plantas de cobertura. Esse fato é explicado pela facilidade desta fração em ser alterada em decorrência do manejo empregado, das espécies vegetais presentes e das características do solo (BORTOLINI *et al.*, 2021).



**Figura 11.** Glomalina facilmente extraível (GFE) ( $\text{mg g}^{-1}$  solo) em diferentes períodos de análise durante o cultivo da Cebola em SPDH submetido a distintas culturas de cobertura.

O teor de GFE no tratamento solteiro de nabo-forageiro foi em geral, menor em todos os períodos avaliados e significativamente menor apenas no momento de colheita da cebola (116 DAT), se comparado aos demais tratamentos com culturas de cobertura. Isso se deve ao fato de o nabo-forageiro ser uma espécie não micorrízica, ou seja, não formar simbiose com FMA, produtor desta glicoproteína, que consequentemente apresentará teores de glomalina inferiores aos encontrados sob espécies micorrízicas (VLČEK; POHANKA, 2020).

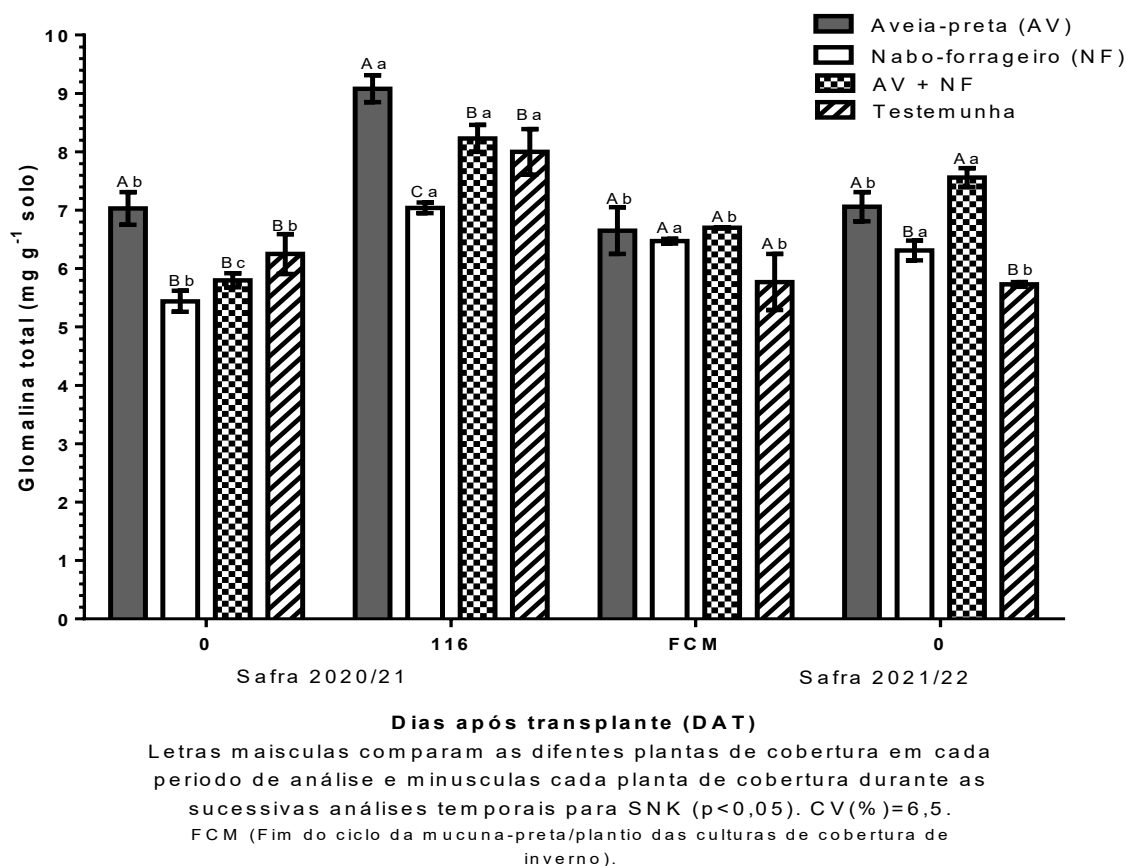
O tratamento consorciado AV+NF apresentou teores maiores de GFE que os demais em todos os períodos de análise. No entanto, AV+NF diferiu dos demais apenas no período de corte da mucuna-preta (FCM) e do nabo-forageiro no acamamento das culturas de cobertura (0 DAT) na safra 2021/22 (Figura 11). Esse comportamento está relacionado à comunidade vegetal antecessora, uma vez que a mucuna-preta é tipicamente micorrízica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), portanto



estimula a comunidade de FMA. Em seguida há o plantio da aveia, outra espécie simbiote micorrízica, que promove a produção de glomalina no solo.

O período de colheita da cebola (116 DAT) foi o que apresentou maiores teores de GFE por tratamentos (Figura 11). Esse comportamento pode estar relacionado à alta demanda dos FMA no processo de bulbificação da cebola, elevando a produção da glicoproteína no solo e à facilidade de a GFE ser modificada constantemente pelo uso do solo e plantas utilizadas (SOUZA *et al.*, 2012). Desta forma, a oscilação do teor de GFE nos períodos de avaliação se deve à essa fração ainda não ter sido modificada bioquimicamente e estar sujeita a degradações e interações (WRIGHT *et al.*, 1996).

O teor de glomalina total (GT) foi influenciado pelas culturas de cobertura no inverno e pelo período da análise durante a rotação das culturas (Figura 12). O tratamento com nabo-forrageiro solteiro apresentou teores menores de GT que aveia-preta solteira, nos períodos avaliados de acamamento das culturas de cobertura (0 DAT, em ambas as safras) e colheita da cebola (116 DAT). Contudo, no período de corte da mucuna-preta (FCM), o teor de GT não diferiu entre os tratamentos. Esse comportamento está atrelado à estabilização do sistema, que está sob este sistema de rotação há 13 anos. Além disso, a característica desta fração da glomalina, que, está totalmente modificada bioquimicamente, ou seja, não é alterada com facilidade por fatores abióticos e bióticos (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998), como a GFE, e está protegida da degradação por estar ligada aos minerais argilosos do solo (RILLIG *et al.*, 2001).



**Figura 12.** Glomalina total (GT) (mg g<sup>-1</sup> solo) em diferentes períodos de análise durante o cultivo da Cebola em SPDH submetido a distintas culturas de cobertura.

O tratamento com aveia-preta solteira apresentou os maiores teores de GT em todos os períodos avaliados em ambas as safras, em contrapartida, o nabo-forrageiro apresentou os menores valores, com exceção do período de cultivo da mucuna-preta (FCM) (Figura 12). Assim, a presença anual de uma cultura não micotrófica tende a reduzir a liberação de glomalina no solo e conseqüentemente favorecer sua adsorção à argila.

No período de corte das culturas de cobertura (0 DAT) os tratamentos com aveia-preta, solteiro ou consorciado, apresentaram os maiores teores de GT, com exceção da safra 2020/21, provavelmente pelas condições ambientais (SANTOS *et al.*, 2018).

Em estudo realizado em SPDH de cebola após o oitavo ano de implantação, com o uso de aveia-preta, nabo-forrageiro, solteiros e consorciados e centeio, Bortolini

*et al.* (2021) avaliaram os teores de GFE e GT após o ciclo das culturas de cobertura e não observaram diferença entre os tratamentos. Neste estudo, em ambas as safras, no momento do corte das culturas de cobertura os tratamentos apresentam diferença. Tal comportamento pode estar relacionado às condições ambientais e também ao avanço dos anos com o mesmo tratamento, o que demonstra a estabilização do sistema (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998), uma vez que o nabo-forrageiro, não micotrófico, foi o que apresentou menores índices em ambos os anos, em comparação a aveia-preta.

### 6.3.7 Potencial de inóculo do solo

No solo coletado após o corte das culturas de cobertura na safra 2020/21 e 2021/22, o tratamento com o nabo-forrageiro solteiro apresentou menor potencial que os outros tratamentos (Tabela 14). Tal fato se deve ao caráter não micotrófico do nabo-forrageiro, tendo em vista que a micotrofia das plantas influencia diretamente a comunidade de FMA (GOMIDE *et al.*, 2009). Em estudo realizado por Harinikumar e Bagyaraj (1988) ao avaliarem o efeito da rotação de culturas em propágulos micorrízicos, constataram redução do número de propágulos infectivos após o cultivo de um hospedeiro não micorrízico, como observado neste estudo.

**Tabela 14.** Número mais provável (NMP) de propágulos em solo advindo de inóculo com diferentes culturas de cobertura cultivado com braquiária (*Urochloa decumbens*).

Tratamento	NMP de propágulos (cm <sup>3</sup> inóculo) (IC 95%)	
	2020/21	2021/22
Ano safra		
Aveia-preta (AV)	2.708 (861-8.094)	6.150 (2.024-14.700)
Nabo-forrageiro (NF)	205 (51-624)	276 (89-821)
AV + NF	5.390 (1.810-13.683)	5.390 (1.810-13.683)
Testemunha	3.174 (1.066-9.153)	539 (181-1.368)

Na safra 2021/22 houve maior potencial de inóculo no tratamento da aveia, solteira e consorciada, com valores entre 6.150 e 5.390 por cm<sup>3</sup>, respectivamente (Tabela 14), o que corresponde ao aumento de 22 e 20 vezes do potencial de inóculo

em relação ao tratamento contendo apenas nabo-forrageiro, na devida ordem. O incremento no NMP na presença de AV pode ter relação com a morfologia das raízes das Poaceae, que são finas e volumosas, sendo tradicionalmente utilizadas como plantas multiplicadoras de FMA (GAIAD, 2000), além do caráter micotrófico da espécie. Santos *et al.* (2013b) constataram que culturas de cobertura como aveia-preta e seu consórcio com ervilhaca e nabo-forrageiro aumentaram o potencial de inóculo do solo. Isso também foi observado por Souza *et al.* (1999) que concluíram que o pré-cultivo de Poaceae elevaram o número de propágulos infectivos.

#### **6.3.8 Caracterização genética da comunidade de FMA por sequenciamento de nova geração (NGS)**

A região ITS sequenciada do solo rizosférico entre os tratamentos e os períodos avaliados permitiram identificar 75 unidades taxonômicas operacionais (OTU) dos gêneros *Glomus*, *Claroideoglomus*, *Diversispora*, *Acaulospora*, *Gigaspora* e *Paraglomus* (Figura 13) em um total de 570.237 leituras (*reads*).



**Figura 13.** Árvore filogenética baseada em sequências da região ITS de solo rizosférico do cultivo da Cebola em SPDH submetida a diferentes culturas de cobertura e períodos de avaliação. Clados baseados em alinhamentos de domínios (>97%).

Os gêneros encontrados neste experimento são os mais comuns em condições tropicais, como relatado por Gomide *et al.* (2009) e Júnior *et al.* (2021a). Ao avaliarem a diversidade de FMA na caatinga, Pontes *et al.* (2017) identificaram 64 espécies de FMA e predominância de Glomeraceae e Acaulosporaceae, a partir dos morfotipos dos esporos. Em solo rizosférico de milho, com o uso de eletroforese em gel de gradiente desnaturante (DGGE), Oliveira *et al.* (2009) obtiveram 38

diferentes espécies, com 43, 46 e 11% de Acaulosporaceae, Glomeraceae e Gigasporaceae, respectivamente. Todavia, até o presente momento, não encontramos trabalhos sobre a diversidade de FMA em condições de plantio direto de hortaliças, com o uso do sequenciamento de nova geração, o que demonstra o ineditismo deste trabalho.

Optou-se por avançar a classificação até gênero para abranger todos os OTU identificados em tal nível, visto que a classificação até espécie apresentou diversos OTU não classificadas. Isso acontece porque o banco de dados Maarj AM, referência global para classificação de FMA (ÖPIK *et al.*, 2010), na versão 2019 utilizada neste estudo, ainda possui poucas sequências cadastradas, principalmente de origem brasileira. Isso enfatiza a importância deste tipo de estudo para alimentar o banco de dados (LÓPEZ-GARCÍA *et al.*, 2020).

A árvore filogenética baseada em alinhamentos (>97%) de domínios dos OTU (Figura 13) mostra que as OTU 52 e 71 não foram agrupadas com outras unidades e classificadas apenas como *Glomerales* sp. Essas unidades apresentaram alinhamentos de 72 e 92%, respectivamente, com a ordem Glomerales. A OTU 3 foi classificada apenas até o filo Glomeromycota (100%). Isso pode indicar que estas espécies de FMA ainda não foram classificadas no banco genético utilizado, e abre possibilidades para a continuidade deste trabalho.

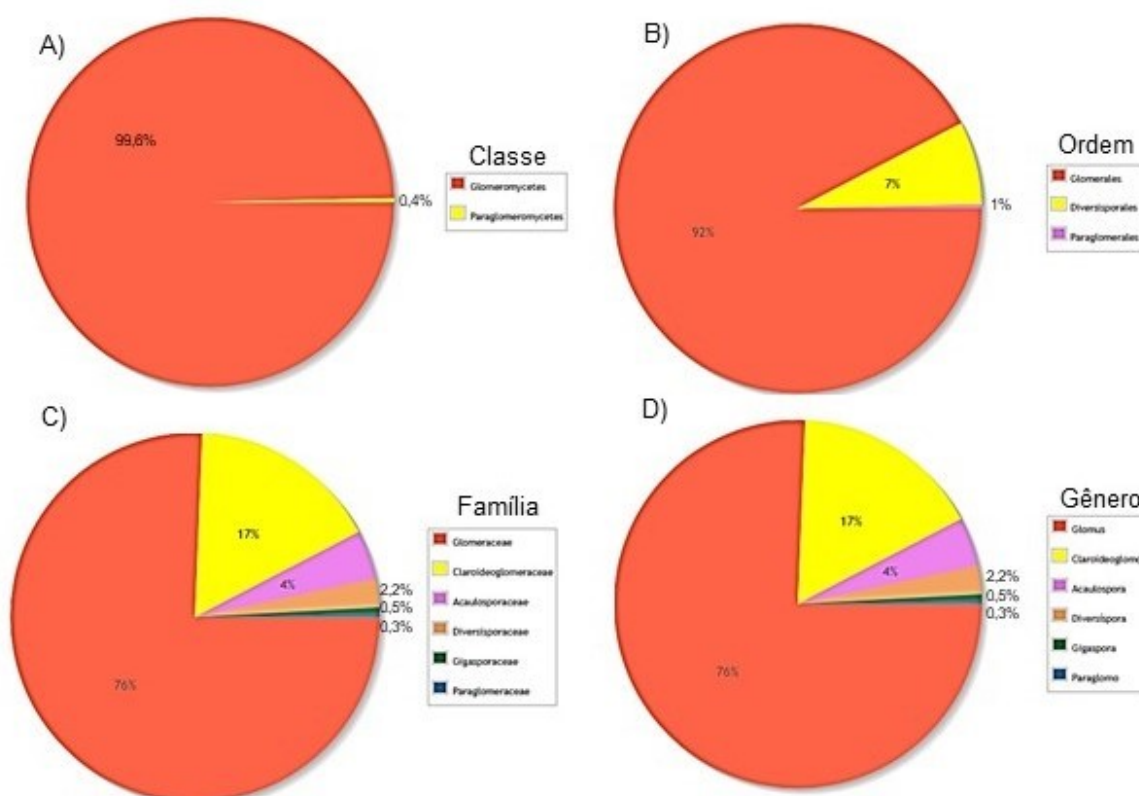
A OTU 66 foi classificada até *Paraglomus* sp. (99%) e, ficou relacionada às OTU 55 e 72 (99%). As OTU 37 e 31 apresentaram alinhamento de 71 e 76% com o gênero *Glomus* sp., respectivamente. As OTU 61 e 69 relacionaram-se a 75 e 76%, respectivamente, com a ordem Glomerales.

As demais OTU tiveram alinhamento superior a 80% e foram agrupadas em pequenos clados, principalmente com classificação a nível de gênero.

Toda a comunidade identificada pertence ao filo Glomeromycota e as classes Glomeromycetes (99,6%) e Paraglomeromycetes (0,4%) (figura 14A), conhecidas classes de FMA (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A ordem foi majoritariamente Glomerales (92%) e o restante, Diversisporales (7%) e Paraglomerales (1%) (14B). Foram identificadas seis famílias, Glomeraceae (76%), Claroideoglomeraceae (17%), Acaulosporaceae (4%), Diversisporaceae (2,2%), Gigasporaceae (0,5%) e Paraglomeraceae (0,3%) (14C). Para os gêneros houve predominância de *Glomus*

(76%), *Claroideoglomus* (17%), *Acaulospora* (4%), *Diversispora* (2,2%), *Gigaspora* (0,5%) e *Paraglomus* (0,3%) (14D). A predominância do gênero *Glomus* já foi observada por Alguacil *et al.* (2012) e Xing *et al.* (2018). Isto pode estar relacionado a produção numerosa de esporos e rápida colonização deste gênero (KAPULNIK; JÚNIOR, 2000).

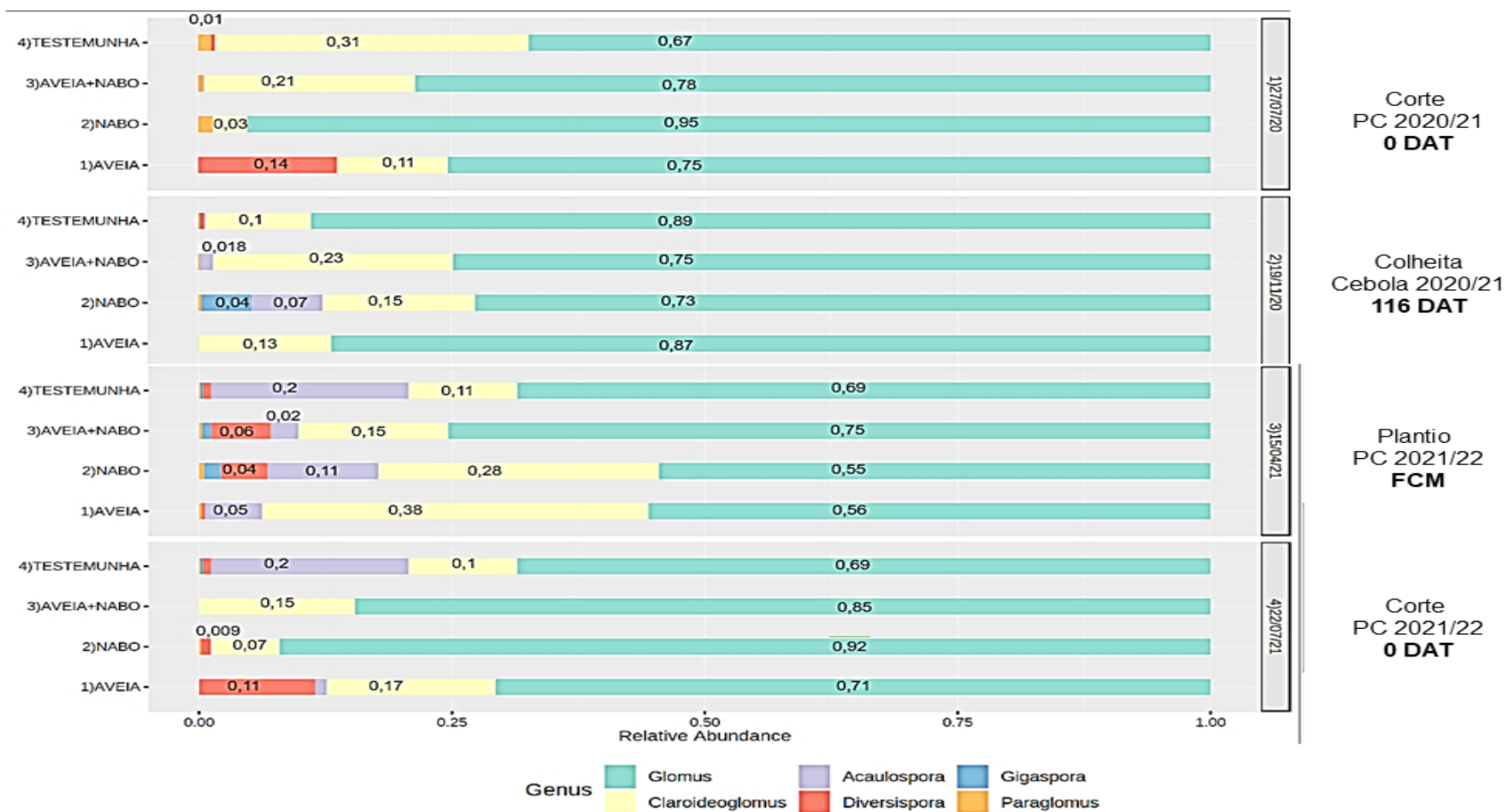
Em estudo realizado por Ventura (2022, no prelo) na mesma área deste experimento para identificar a comunidade de FMA, a partir da morfologia de esporos, foi observada predominância de Glomeraceae, como observado neste estudo. A autora avaliou como diferentes plantas de cobertura de inverno (centeio e nabo-forrageiro, solteiros, centeio + nabo-forrageiro em consórcio e testemunha (vegetação espontânea) afetaram a diversidade desses microrganismos. Caracterizando os morfotipos dos esporos coletados durante o ciclo das plantas de cobertura de inverno, aquele trabalho encontrou onze gêneros, pertencentes às famílias Glomeraceae, Acaulosporaceae, Gigasporaceae, Claroideoglomeraceae e Paraglomeraceae. Todas essas famílias também foram identificadas no sequenciamento de nova geração realizada neste estudo, mas neste trabalho também ocorreram FMA das Diversisporaceae (2,2%). Essa diferença está relacionada ao método de identificação, visto que o sequenciamento genético de nova geração permite caracterizar a comunidade de FMA a partir do DNA desses fungos no solo, enquanto a técnica morfológica necessita da produção de esporos pelas espécies e a preservação das estruturas para identificação, e podem ter sido influenciados pelos tratamentos (plantas de cobertura) avaliados.



**Figura 14.** Distribuição (%) geral da comunidade de FMA avaliada em SPDH de Cebola com diferentes culturas de cobertura de inverno e análises temporais em Classe (A), Ordem (B), Família (C) e Gênero (D).

A avaliação de abundância relativa desses organismos nos diferentes tratamentos e tempos de análise mostrou dominância (>67%) do gênero *Glomus* em todas as coletas realizadas, com exceção da coleta realizada no corte da mucuna-preta/plantio das culturas de cobertura (FCM) na safra 2021/22, na qual a dominância foi reduzida para >55% (Figura 15).





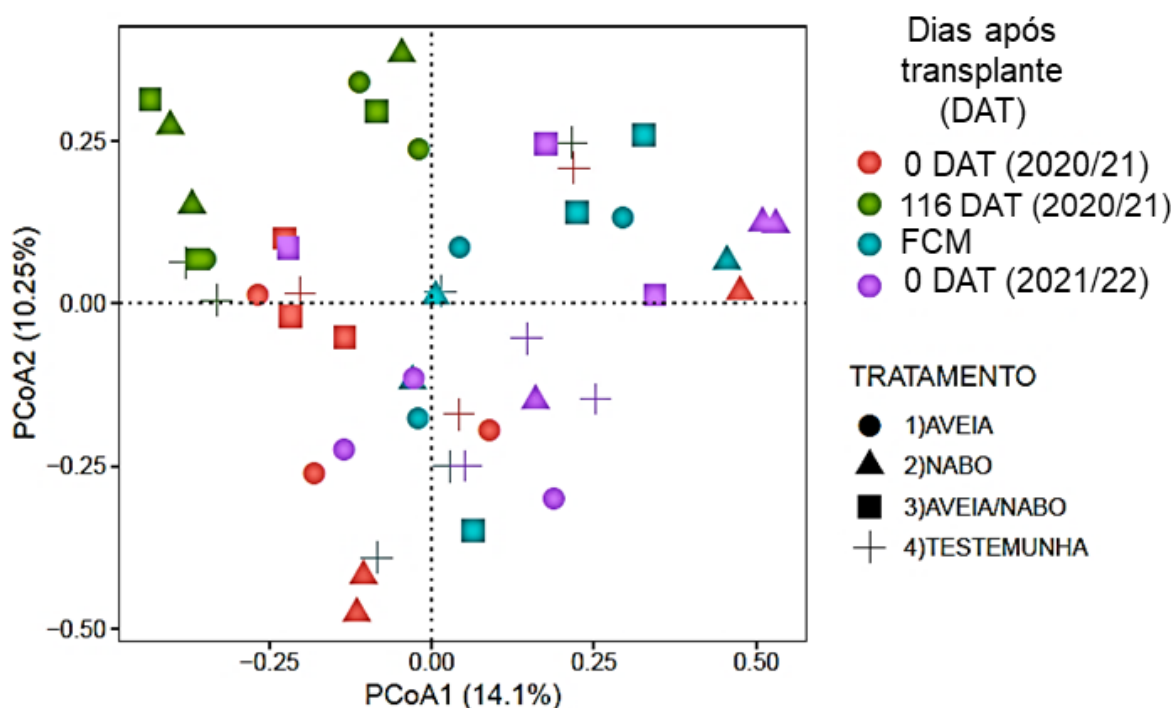
**Figura 15.** Abundância relativa (1,0 = 100%) dos gêneros de FMA identificados do solo rizosférico em sistema de SPDH da cebola submetida a diferentes culturas de cobertura e testemunha (tratamentos) em distintos tempos (em dias após transplante (DAT)). FCM (Fim do ciclo da mucuna-preta/plantio das plantas de cobertura de inverno).

De maneira geral, no corte da mucuna-preta/plantio das culturas de cobertura (FCM) aumentou-se a ocorrência de *Clareidoglumus* nos tratamentos com aveia-preta e nabo-forrageiro, solteiros e maior presença relativa de *Acaulospora* (Figura 15). Isso aconteceu pela ação da mucuna-preta como planta de cobertura de verão, utilizada entre o ciclo da cebola e o as culturas de cobertura de inverno para a próxima safra. A comunidade de FMA pode ser modificada no decorrer dos períodos, principalmente pela ação de diferentes cultivos, como observado neste estudo e também por Benedetti *et al.* (2005) que identificaram *Acaulospora*, *Glomus* e *Scutellospora*, após o cultivo de mucuna.

Ao comparar os cortes das culturas de cobertura na safra 2020/21 e 2021/22 (0 DAT), observa-se comportamento semelhante da diversidade dos gêneros de FMA, com exceção da testemunha, provavelmente pela diversidade das plantas espontâneas presentes.

O ciclo da cebola com exceção do tratamento com plantas residentes aumentou a proporção de *Clareidoglumus* e no tratamento com nabo-forrageiro o gênero *Acaulospora*. Em levantamento realizado no cultivo de *Allium cepa* L. na Holanda, Galván *et al.* (2009) identificaram com o uso do sequenciamento de nova geração 14 filotipos, destes, 79; 14 e 7% do gênero *Glomus*, *Archaeospora* e *Paraglomus*, respectivamente. Essa diferença provavelmente está relacionada a condições ambientais (CARDOSO; ANDREOTTE, 2016), plantas utilizadas (DUARTE *et al.*, 2019) e o sistema de cultivo (ANGELINI *et al.*, 2012).

A PERMANOVA indicou interação entre os diferentes tratamentos (culturas de cobertura) e os tempos avaliados (análises temporais) ( $p < 0,05$ ). A análise de coordenadas principais (PCoA) utilizada para representar estes dados, respondeu a 24,35% da variação dos dados (Figura 16). A diversidade de FMA no momento da colheita da cebola (116 DAT) foi menos dispersa em todos os tratamentos, como observado na Figura 15, com a predominância do gênero *Glomus*, acima de 73%.



FCM: Fim do ciclo da mucuna-preta/plantio das plantas de cobertura de inverno.

**Figura 16.** Análise de coordenadas principais (PCoA) baseada na distância de Bray-Curtis para a comunidade de FMA presente em SPDH de cebola com diferentes culturas de cobertura e tempos (dias após transplante (DAT) da cebola).

Os levantamentos realizados no momento do corte das culturas de cobertura (0 DAT) na safra 2020/21 e 2021/22 de maneira geral agruparam-se no eixo negativo da segunda coordenada principal (PCoA2), enquanto, a comunidade no momento do corte da mucuna-preta (FCM), em sua maioria, no eixo positivo das coordenadas (Figura 16). Esse comportamento reforça a ação das plantas cultivadas na comunidade de FMA (BENEDETTI *et al.*, 2005; MIRANDA; MIRANDA, 2007b; PRATES *et al.*, 2021).

Não se observa tendência de agrupamento com exceção da colheita da cebola (116 DAT), isso pode estar relacionado à dominância de *Glomus* em todos os tratamentos, baixa diversidade de gêneros encontrados e catalogados (CÓRDOBA; MENDONÇA; ARAÚJO, 2002, PRATES *et al.*, 2021) e também, pela interação significativa entre os fatores, ou seja, rejeição da hipótese nula e influência das culturas de cobertura utilizadas, assim como, as plantas utilizadas na rotação de cultivos da cebola em SPDH (avaliação em diferentes períodos de tempo).

## 6.4 CONCLUSÕES

As plantas utilizadas neste estudo afetaram a abundância de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares do solo, a colonização das raízes, as frações de glomalina e a diversidade dos FMA.

Os números de esporos do solo, nos tratamentos com a presença da aveia-preta, espécie micotrófica, são superiores àqueles com nabo-forageiro, espécie não micotrófica, em todos os períodos de análise, com exceção do corte da mucuna-preta.

O nabo-forageiro solteiro diminui de propágulos de FMA estimado pelo número mais provável.

O cultivo de uma espécie micotrófica, a mucuna-preta, em área com rotação com uma espécie não micotrófica, como o nabo-forageiro, recupera o potencial de propágulos de FMA da área, avaliado pelo número de esporos.

As taxas de colonização micorrízica da cebola tem os maiores valores no estabelecimento da planta a campo (39 DAT) e na bulbificação (85 DAT) e diminuem na colheita (116 DAT), comportamento relacionado à diminuição do número de propágulos, principalmente em áreas com nabo-forageiro solteiro.

Todas as plantas espontâneas dominantes possuem caráter micotrófico, com exceção da língua-de-vaca, dominante nos tratamentos com a presença de nabo-forageiro no período de estabelecimento a campo.

A presença de uma cultura não micotrófica reduz as frações de glomalina no solo.

O sequenciamento dos FMA do solo em SPDH da cebola estima que há 75 unidades taxonômicas operacionais (OTU), com predominância do gênero *Glomus*.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação foi desenvolvida em experimento implantado em 2009 com cebola na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), Ituporanga, Santa Catarina. O experimento faz parte de uma proposta metodológica como estratégia para transição agroecológica, o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). Este trabalho buscou avaliar como as culturas de cobertura (CC) de caráter micotrófico (aveia-preta) e não micotrófico (nabo-forrageiro) afetam as comunidades de plantas espontâneas e de fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Foi realizada a caracterização florística e levantamento fitossociológico das plantas espontâneas e para a comunidade de FMA, sequenciamento genético de nova geração e variação no número de propágulos fúngicos, além de se quantificar como as CC afetam a classificação e rendimento da cebola em SPDH durante a sucessão de cultivos.

A pesquisa demonstrou que a cebola, cultura micotrófica, é beneficiada ao ser antecedida por CC micotrófica, que aumenta o número de propágulos de FMA, as frações de glomalina e a colonização radicular dos cultivos, em comparação à CC não micotrófica. Essa característica das CC não afetou, no entanto, a predominância e dominância do caráter micotrófico da comunidade das plantas espontâneas.

Foi observado que espécies espontâneas não micotróficas foram identificadas apenas no tratamento antecedido pelo nabo-forrageiro, não micotrófico, o que sugere a continuidade da identificação das comunidades espontâneas neste experimento, visto que a relação micotrófica das plantas espontâneas e das culturas de cobertura em SPDH da cebola foi analisada pela primeira vez neste trabalho.

A análise da diversidade de FMA com sequenciamento de nova geração em condições de SPDH é inédita, e permitiu avaliar e validar levantamentos desses microrganismos já realizados pela técnica de morfologia de esporos. Foram encontradas sequências genéticas ainda não registradas no banco de dados mundial de FMA. Este experimento permitiu observar que a diversidade de FMA e a produção de propágulos é dependente principalmente da espécie vegetal utilizada.

A mucuna-preta, espécie de cobertura de verão, apresentou significativo potencial para a reabilitação da atividade desses fungos benéficos nos

agroecossistemas e essa informação é relevante para os agricultores para esse objetivo. Outro ponto relevante foi a supressão do crescimento da losna, espécie espontânea preocupante para o SPDH, com o uso do consórcio de aveia-preta e nabo-forrageiro como cultura de cobertura de inverno.

Desta forma, essa dissertação, conduzida para responder às perguntas de pesquisa que levantou, abriu a possibilidade de continuidade para melhor compreender como as comunidades vegetais e microbiológicas estão relacionadas.

## REFERÊNCIAS

- ABOIM, M. C. R.; BARBOSA, J. C.; COUTINHO, H. L. C.; ROSADO, A. S. **Avaliação de Diversidade Microbiana em Amostras de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 31 p. (Documentos, n. 68).
- ALCÂNTARA, F. A.; MADEIRA, N. R. **Manejo do solo no sistema de produção orgânico de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 12 p. (Circular técnica, n. 64).
- ALGUACIL, M. M.; LUMINI, E.; ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCÍA, J. R.; BONFANTE, P.; BIANCIOTTO, V. The impact of tillage practices on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in subtropical crops. **Ecological Applications**, v. 18, n. 2, p. 527–536, 2008.
- ALGUACIL, M. M.; TORRECILLAS, E.; HERNÁNDEZ, G.; ROLDÁN, A. Changes in the Diversity of Soil Arbuscular Mycorrhizal Fungi after Cultivation for Biofuel Production in a Guantanamo (Cuba) Tropical System. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. 1-8, 2012.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3 ed. São Paulo: Expressão Popular; Rio de Janeiro: AS-PTA, 2012. 400 p.
- ALTIERI, M.; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V. H.; KIELING, A. S.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 35, p. 855-869, 2011.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ALVES, D. P.; WAMSER, G. H.; ARAÚJO, E. R.; ROCHA, D. SCS373 Valessul: novo cultivar de cebola para Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 30, n. 1, p.52-56, 2017.
- ANDERSON, M. J.; ELLINGSEN, K. E.; MCARDLE, B. H. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. **Ecology Letters**, v. 9, p. 683–693, 2006.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: A Handbook of Methods**. 2 ed. Wallingford: CAB International, 1993. 238 p.
- ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. A Microbiota do Solo na Agricultura Orgânica e no Manejo das Culturas. *In*: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Campinas: IAC, 2007. cap 2. p. 21-38.

- ANDREOTE, F. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Introdução a biologia do solo. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: Esalq, 2016. cap 1. p. 09-22.
- ANGELINI, G. A. R.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; TORRES, J. L. R.; JÚNIOR, O. J. S. Colonização micorrízica, densidade de esporos e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em solo de Cerrado sob plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 115–130, 2012.
- BARBIERI, R. L.; MEDEIROS A. R. M. A cebola ao longo da história. *In*: BARBIERI, R.L. (Ed.). **Cebola: ciência, arte e história**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2007. p. 13-20.
- BARKER, S. J.; TAGU, D.; DELP, G. Regulation of Root and Fungal Morphogenesis in Mycorrhizal Symbioses. **Plant Physiol.**, n.116, p. 1201–1207, 1998.
- BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. (Org.). **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da palavra, 2021. 547 p.
- BASSEGIO, D.; SANTOS, R. F.; SECCO, D.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; WERNCKE, I.; SARTO, M. V. M. Short-term effects of crop rotations on soil chemical properties under no-tillage condition. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 49-54, 2015.
- BATISTA, M. A. V.; NETO, F. B.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; GUIMARÃES, L. M. S.; SARAIVA, J. P. B.; SILVA, M. L. Atributos microbiológicos do solo e produtividade de rabanete influenciados pelo uso de espécies espontâneas. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 587-594, 2013.
- BEGUM, N.; AHANGER, M. A.; RAZA, S.; KHAN, M. I.; ASHRAF, M.; AHMED, N.; ZHANG, L. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. **Front. Plant Sci.**, v. 10, p. 1-15, 2019.
- BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.4, n.1, p. 44-51, 2005.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos micorrízicos arbusculares, muito além da nutrição. *In*: FENANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.
- BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D. S.; RIVA, M. M.; CABANÊZ, P. A.; AMARAL, A. A. MICORRIZAS E SUA IMPORTÂNCIA AGROECOLÓGICA. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22; p. 132-146, 2015.
- BHULLAR, G. S.; RIAR, A. (ed.). **Long-Term Farming Systems Research**. Academic Press: Cambridge, 2020. 224 p.



BOEING, G. **Fatores que afetam a qualidade da cebola na agricultura familiar catarinense**. Florianópolis: Instituto Cepa/SC, 2002. 80 p.

BOND, W; BURSTON, S. Timing the removal of weeds from drilled salad onions to prevent crop losses. **Crop Protec.**, v. 15, n. 2, p. 205-211, 1996.

BORKERT, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A.; PEREIRA, J. E.; PEREIRA, L. R.; JÚNIOR, A. O. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesq. agropec. bras.**, v. 38, n. 1, p. 143-153, 2003.

BORTOLINI, J. G.; SOARES, C. R. F. S.; MULLER, M. J.; FERREIRA, G. W.; MEYER, E.; VIEIRA, C. K.; SOUZA, M.; KURTZ, C.; LOURENZI, C. R.; LOVATO, P. E.; LOSS, A.; COMIN, J. J. Soil Carbon, Glomalin, And Aggregation in Onion Crop Under No-Tillage with Cover Crops or Conventional Tillage Systems for Eight Years. **Journal of Agricultural Studies**, v. 9, n. 2, p. 130-150, 2021.

BREWSTER, J. L. **Onions and other vegetable alliums**. 2 ed. Horticulture Research International: Wellesbourne, 2008. 455 p.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. *In*: OLIVEIRA J.; R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Org.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.

BROWMIK, P. S. Weed biology: importance to weed management. **Weed Science**, v. 45, p. 349-354, 1997.

CALEGARI, A.; COSTA, M. B. **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.

CAMARGO, A. F. M.; SCHIAVETTI, A.; CETRA, M. Efeito da mineração de areia sobre a estrutura da comunidade de macrófitas aquáticas em um ecossistema lótico do litoral sul paulista. **Brazilian Journal of Ecology**, v. 1, n. 2, 1997.

CAMERON, D. D. Arbuscular mycorrhizal fungi as (agro)ecosystem engineers. **Plant Soil**, v. 333, p. 1–5, 2010.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. (Ed.). **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: Esalq, 2016. 225 p.

CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, M. A. Fungos micorrízicos mantêm sustentabilidade do SPD. **Visão agrícola**, n. 9, p. 67-69, 2009.

CARRENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S. M.; BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A. Fungos Micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. *In*: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. cap 7. p. 215-250.

CARENHO, R.; TRUFEM, S. F. B.; BONONI, V. L. R. Effects of using different host plants on the detected biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi from an agroecosystem. **Revista Brasileira Botânica**, v. 25, p. 93-101, 2002.

CARVALHO, L. B. **Plantas daninhas**. Lages: Editado pelo autor, 2013. 82 p.

CAVALIERI, S. D. **Plantas daninhas**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/cebola/plantas-daninhas>>. Acesso em 28 fev. 2022.

CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Austral Ecol**, v. 18, p. 117–143, 1993.

COCHRAN, W. G. Estimation of Bacterial Densities by Means of the "Most Probable Number". **Biometrics**, v. 6, n. 2, p. 105-116, 1950.

COMIN, J. J.; VILANOVA, C. C.; KURTZ, C.; JÚNIOR, V. M.; VENTURA, B. S.; REIS, M. S.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P. E.; SOUZA, M. Avaliação fitossociológica de plantas invasoras em cultivo de cebola sob sistema plantio direto sem uso de agrotóxicos. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 117, n. 2, p. 197-206, 2018.

CÓRDOBA, A. S.; MENDONÇA, M. M.; ARAÚJO, E. F. Avaliação da diversidade genética de fungos micorrízicos arbusculares em três estádios de estabilização de dunas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p. 931-937, 2002.

CORREIA, N. M. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2018. 30 p.

COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. **Cultivo da Cebola no Nordeste**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 90 p. (Sistemas de Produção, n. 3).

COSTA, N. L.; DIONÍSIO, J. A.; ANGHINONI, I. Influência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares, fontes e doses de fósforo sobre o crescimento de aveia forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, p. 979-986, 1989.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; FERNANDES, J. C.; CAVASANO, F. A.; ULIAN, N. A.; PARIZ, C. M.; SANTOS, F. G. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. **Agrária**, v. 9, n. 2, p. 166-173, 2014.

COSTA, R. S. C.; MENDES, A. M.; RODRIGUES, V. G. S.; LEÔNIDAS, F. C. Micorrizas arbusculares em sistemas agroflorestais. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2013. 18 p. (Documentos, n. 156).

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, v. 40, n. 2, p.161-168, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; MORO, E.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011.

DELAVAUX, C. S.; STURMER, S. L.; WAGNER, M. R.; SCHUTTE, U.; MORTON, J. B.; BEVER, J. D. Utility of large subunit for environmental sequencing of arbuscular mycorrhizal fungi: a new reference database and pipeline. **New Phytologist**, v. 229, p. 3048–3052, 2021.

DENTIKA, P.; OZIER-LAFONTAINE, H.; PENET, L. Weeds as Pathogen Hosts and Disease Risk for Crops in the Wake of a Reduced Use of Herbicides: Evidence from Yam (*Dioscorea alata*) Fields and *Colletotrichum* Pathogens in the Tropics. **J. Fungi**, v. 7, n. 283, p. 1-9, 2021.

DIAS, A. C. R.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Problemática da ocorrência de diferentes espécies de capim colchão (*Digitaria* spp.) na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 489-499, 2007.

DUARTE, L. M.; BERTINI, S. C. B.; STÜRMER, S. L.; LAMBAIS, M. R.; AZEVEDO, L. C. B. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in soils under three phytophysognomies of the Brazilian Atlantic Forest. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, n. 1, p. 50-60, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. 355 p.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Produção de cebola em sistema orgânico**. Florianópolis: EPAGRI, 2021. 15 p.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2017-2018**. Florianópolis: EPAGRI, 2019. 206 p.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2018-2019**. Florianópolis: EPAGRI, 2020. 200 p.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Sistema de produção para cebola**: Santa Catarina. Florianópolis: EPAGRI, 2000. 91p. (Epagri. Sistemas de Produção, 16).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crop and livestock products: onion**. 2022. Disponível em:

<<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em 22 jan. 2022.

FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**: Método de transição para um novo modo de produção. São Paulo: Expresso Popular, 2019. 432 p.

FAYAD, J. A.; COMIN, J. J.; BERTOL, I. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**: O cultivo de tomate. Florianópolis: EPAGRI, 2016. 91 p. (Boletim didático, n. 131).

FAYAD, J. A.; COMIN, J. J.; KURTZ, C.; MAFRA, A. (Orgs.). **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**: O cultivo da Cebola. Florianópolis: EPAGRI, 2018. 78 p. (Boletim didático, n. 146).

FELDMANN, F.; IDCZAK, E. Inoculum production of vesiculararbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. *In*: NORRIS, J. R.; READ, D. J.; VARMA, A. K. **Techniques for mycorrhizal research methods in microbiology**. London: Academic Press, 1994. cap. 18. p. 799-817.

FERREIRA, A. C. B.; LAMAS, F. M.; CARVALHO, M. C. S.; SALTON, J. C.; SUASSUNA, N. D. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, v. 45, n. 6, p. 546-553, 2010.

FERREIRA, D. A.; CARNEIRO, M. A. C.; JUNIOR, O. J. S. Fungos Micorrízicos Arbusculares em um Latossolo Vermelho sob Manejos e Usos no Cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 36, p. 51-61, 2012.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FILHO, S. P. V.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; NETO, M. S.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de campos gerais - Tibagi, PR. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 599-610, 2008.

FONTES, J. R. A.; SHIRATSUCHI, L. S.; NEVES, J. L.; JÚLIO, L.; FILHO, J. S. **Manejo integrado de Plantas Daninhas**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2003. 47 p. (Documentos, n. 103).

FORMIGHEIRI, F. B.; BONOME, L. T. S.; BITTENCOURT, H. V. H.; LEITE, K.; REGINATTO, M.; GIOVANETTI, L. K. Alelopatia de *Ambrosia artemisiifolia* na germinação e no crescimento de plântulas de milho e soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 729-739, 2018.

FREITAS, F. C. L.; ALMEIDA, M. E. L.; NEGREIROS, M. Z.; HONORATO, A. R. F.; MESQUITA, H. C.; SILVA, S. V. O. F. Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura da cenoura em função do espaçamento entre fileiras. **Planta daninha**, v. 27, n. 3, p. 473-480, 2009.

GALVÁN, G. A.; PARÁDI, I.; BURGER, K.; BAAR, J.; KUYPER, T. W.; SCHOLTEN, O. E.; KIK, C. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming systems in the Netherlands. **Mycorrhiza**, n. 19, p. 317–328, 2009.

GASPAROTTO, F. A.; NAVARRETE, A. P.; SOUZA, F. A.; TSAI, S. M. Técnicas moleculares aplicadas ao estudo de micorrizas. *In*: SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, J. B. N.; TSAI, S. M. (Ed.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. cap 19. p. 551-582.

GEEL, M. V.; BUSSCHAERT, P.; HONNAY, O.; LIEVENS, B. Evaluation of six primer pairs targeting the nuclear rRNA operon for characterization of arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities using 454 pyrosequencing. **Journal of Microbiological Methods**, v. 106, p. 93–100, 2014.

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**, v. 46, p. 235-244, 1963.

GERZ, M.; BUENO, C.G.; OZINGA, W.A.; ZOBEL, M.; MOORA, M. Niche differentiation and expansion of plant species are associated with mycorrhizal symbiosis. **Journal of ecology**, v. 106, p. 254-264, 2018.

GIANINAZZI, S.; ARMELLE, G.; BINET, M.; TUINEN, D.; VAN.; REDECKER, D.; WIPF, D. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. **Mycorrhiza**, v. 20, p. 519-530, 2010.

GIEHL, A. L.; JOCHIMS, F.; ELIAS, H. T.; ALVES, J. R.; GUGEL, J. T.; JUNIOR, G. X. M.; MARCONDES, T. **Boletim Agropecuário: Julho/2021**. Florianópolis: Epagri, 2021. 53 p. (Documentos, n. 342). (a)

GIEHL, A. L.; JOCHIMS, F.; PADRÃO, G. A.; JUNIOR, G. X. M.; ELIAS, H. T.; ALVES, J. R.; GUGEL, J. T.; MARCONDES, T. **Boletim Agropecuário: Dezembro/2021**. Florianópolis: Epagri, 2021. 52 p. (Documentos, n. 349). (b)

GIEHL, A. L.; PADRÃO, G. A.; ELIAS, H. T.; ALVES, J. R.; GUGEL, J. T.; JUNIOR, R. G.; MARCONDES, T. **Boletim Agropecuário: Março/2022**. Florianópolis: Epagri, 2022. 51 p.

GIOVANETTI, L. K.; BONOME, L. T. S.; BITTENCOURT, H. V. H.; KRUPPA, M. F.; SOUZA, E.; LIZARELLI, H. F. A Influência de cultivos agrícolas em parâmetros da qualidade do solo. *In*: SANTOS, C. C. **Agroecologia: debates sobre a sustentabilidade**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. cap. 11. p. 99- 107.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980.

GOMES, E. A.; OLIVEIRA, F. A. S.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. A. **Análise Molecular de Fungos Micorrízicos Arbusculares em Raízes de Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 23 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, n. 29).

GOMES, J. R.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Biologia e manejo de plantas daninhas em áreas de plantio direto. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 789-798, 2008.

GOMIDE, P. H. O.; SANTOS, J. G. D.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Diversidade e função de fungos micorrízicos arbusculares em sucessão de espécies hospedeiras. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 44, n. 11, p.1483-1490, 2009.

GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; FILHO, J. V. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. **Eng. Agríc.**, v. 26, n. 1, p. 67-75, 2006.

GORZELAK, M. A.; HOLLAND, T. C.; XING, X.; HART, M. M. Molecular approaches for AM fungal community ecology: A primer. **Journal of Microbiological Methods**, v. 90, p. 108–114, 2012.

GRIME, J. P. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. **Journal of Ecology**, v. 86, p. 902-910, 1998.

GRMAN, E. Plant species differ in their ability to reduce allocation to non-beneficial arbuscular mycorrhizal fungi. **Ecology**, v. 93, n. 4, p. 711–718, 2012.

HAGEMANN, T. R.; BENIN, G.; LEMES, C.; MARCHESE, J. A.; MARTIN, T. N.; PAGLIOSA, E. S.; BECHE, E. Potencial alelopático de extratos aquosos foliares de aveia sobre azevém e amendoim-bravo. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 509-518, 2010.

HARAMOTO, E. R.; GALLANDT, E. R. Brassica cover cropping for weed management: A review. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 19, n. 4, p. 187–198, 2004.

HARINIKUMAR, K. M.; BAGYARAJ, D. J. Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. **Plant and Soil**, v. 110, p. 77-80, 1988.

HARLEY, J. L.; SMITH, S. E. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic, 1983. 483 p.

HARRISON, M.J. Biotrophic interfaces and nutrient transport in plant fungal symbioses. **Journal of Experimental Botany**, v.50, p.1013-1022, 1999.

- HART, M. M.; ALEKLETT, K.; CHAGNON, P. L.; EGAN, C.; GHIGNONE, S.; HELGASON, T.; LEKBERGS, Y.; OPIK, M.; PICKLES, B. J.; WALLER, L. Navigating the labyrinth: a guide to sequence-based, community ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 207, n. 235–247, 2015.
- HEBERLE, E. S.; ARMAS, R. D.; HEBERLE, D. A.; STURMER, S. L.; PERUCH, L. A. M.; LOVATO, P. E.; SOARES, C. R. F. S. Occurrence and Structure of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Cassava after Cultivation of Cover Crops as Observed by the “PCR-DGGE” Technique. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p. 1292-1301, 2015.
- HEIJDEN, M. G. A. van der.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. **Ecology**, v. 79, n. 6, p. 2082–2091, 1998.
- HEINZ, R.; GARBIATE, M.V.; NETO, A.L.V.; MOTA, L.H.S.; CORREIA, A.M.; VITORINO, A.C.T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, v.41, n.9, p.1549-1555, 2011.
- HIGO, M.; ISOBE, K.; MIYAZAWA, Y.; MATSUDA, Y.; DRIJBER, R. A.; TORIGOE, Y. Molecular diversity and distribution of indigenous arbuscular mycorrhizal communities colonizing roots of two different winter cover crops in response to their root proliferation. **Journal of Microbiology**, v. 54, n. 2, p. 86–97, 2016.
- HIGO, M.; TATEWAKI, Y.; GUNJI, K.; KASEDA, A.; ISOBE, K. Cover cropping can be a stronger determinant than host crop identity for arbuscular mycorrhizal fungal communities colonizing maize and soybean. **PeerJ**, v. 7, p. 1-24, 2019.
- HIRATA, S.; HIRATA, E. K.; MONQUERO, P. A.; GOLLA, A. R.; NARITA, N. Plantas de cobertura no controle de plantas daninhas na cultura do tomate em plantio direto. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 465-472, 2009.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola Municipal: Tabela 1612, Cebola, Unidades da Federação.** 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>>. Acesso em 15 jun. 2022.
- JARSTFER, A. G.; SYLVIA, D. M. Aeroponic culture of VAM fungi. *In*: VARMA, A.; HOCK, B. (Eds.) **Mycorrhiza**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. p. 427-441.
- JORDAN, N. R.; ZHANG, J.; HUERD, S. Arbuscular-mycorrhizal fungi: potential roles in weed management. **Weed Research**, v. 40, p. 397-410, 2000.
- JORDAN, N.; HUERD, S. Effects of soil fungi on weed communities in a corn-soybean rotation. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 23, n. 2, p. 108–117, 2008.

JUNGES, A. N. **Uso de fungos micorrízicos arbusculares na produção de mudas de cebola** (*Allium cepa* L.). 2012. 54 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

JÚNIOR, F. O. G. M.; GONÇALVES, P. A. S.; MARCUZZO, L. L. Avaliação de sistemas de produção convencional, racionais e orgânicos na cultura da cebola em plantio direto no Alto Vale do Itajaí – SC. **Revista Thema**, v. 15, n. 3, p. 1123-1136, 2018.

JÚNIOR, G. A. G.; PEREIRA, R. A.; SODRÉ, G. A.; SACRAMENTO, C. K.; GROSS, E. Absorption of nutrients by soursop seedlings in response to mycorrhizal inoculation and addition of organic compost. **Pesq. Agropec. Trop.**, v. 48, n. 3, p. 287-294, 2018.

JÚNIOR, O. J. S.; BORGES, W. L.; NOVAIS, C. B.; SILVA, E. M. R. **Manual de curadores de Germoplasma – Micro-organismos: Fungos Micorrízicos Arbusculares**. Brasília: EMPRAPA, 2011. 23 p. (Documentos n. 334 (Recursos Genéticos e Biotecnologia), n. 290 (Agrobiologia) e n. 76 (Amapá)).

JÚNIOR, P. P.; MOREIRA, B. C.; SILVA, M. C. S.; DIOGO, N. V.; LUZ, J. M. R.; JORDÃO, T. C.; PAIVA, H. N.; KASUYA, M. C. M. Mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization show contrasts on native species of the Brazilian Atlantic Forest and Cerrado. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 45, p. 1-16, 2021. (a)

JÚNIOR, P. P.; SILVA, M. C. S.; PRADO, I. G. O.; VELOSO, T. G. R.; MOREIRA, B. C.; KASUYA, M. C. M. (Org.). **Micorrizas Arbusculares: conceitos, metodologias e aplicações**. Viçosa: SBCS, 2021. 122 p. (b)

KAPULNIK, Y.; JÚNIOR, D. D. D. (Ed.). **Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function**. Berlim: SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V., 2000. 369 p.

KIELING, A. S.; COMIN, J. J.; FAYAD, J. A.; LANA, M. A.; LOVATO, P. E. Plantas de cobertura de inverno em sistema de 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.

KLING, M.; JACOBSEN, I. Arbuscular mycorrhiza in soil quality assessment. **Ambio**, v. 27, p. 29- 34, 1998.

KOIDE, R. T.; MOSSE, B. A. A history of research on arbuscular mycorrhiza. **Mycorrhiza**, v. 14, p. 145-163, 2004.

KREBS, C. J. **Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance**. 2.ed. New York: Harper & Row, 1978. 678.

KRUGER, M.; STOCKINGER, H.; KRUGER, C.; SCHUBLER, A. DNA-based species level detection of Glomeromycota: one PCR primer set for all arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 183, p. 212–223, 2009.



KRYUKOV, A. A.; GORBUNOVA, A. O.; MACHS, E. M.; MIKHAYLOVA, Y. V.; RODIONOV, A. V.; ZHURBENKO, P. M.; YURKOV, A. P. Perspectives of using Illumina MiSeq for identification of arbuscular mycorrhizal fungi. **Vavilov Journal of Genetics and Breeding**, v. 24, n. 2, p. 158-167, 2019.

KURTZ, C.; PAULETTI, V.; FAYAD, J. A.; VIEIRA-NETO, J. Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 279-288, 2016.

LABBAFY, F.; MAIGHANY, A.; KHALAJ, A. M.; BAGHESTANY, I.; MEHRAFARIN, A. Study of allelopathic interaction of wheat (*Triticum aestivum* L.) and rye (*Secale cereal* L.) using equalcompartment-agar method. **Asian Journal of Agricultural Sciences**, v. 1, n. 2, p. 25-28, 2009.

LARA, L. M.; OLDONI, A.; MACHADO, A. L. T. Plantas espontâneas e seu sistema radicular na colheita da cebola. *In*: Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas, 24, 2015, Pelotas. **Anais [ ... ] Pelotas: UFPEL**, 2015. 4 p.

LEE, J.; LEE, S.; YOUNG, J. P. W. Improved PCR primers for the detection and identification of arbuscular mycorrhizal fungi: PCR primers for arbuscular mycorrhizal fungi. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 65, p. 339–349, 2008.

LEKBERG, Y.; VASAR, M.; BULLINGTON, L. S.; SEPP, S. K.; ANTUNES, P. M.; BUNN, R.; LARKIN, B. G.; OPIK, M. More bang for the buck? Can arbuscular mycorrhizal fungal communities be characterized adequately alongside other fungi using general fungal primers? **New Phytologist**, v. 220, p. 971–976, 2018.

LEMANCEAU, P.; MARON, P.; MAZURIER, S.; MOUGEL, C.; PIVATO, B.; PLASSART, P.; RANJARD, L.; REVELLIN, C.; TARDY, V.; WIPF, D. Understanding and managing soil biodiversity: a major challenge in agroecology. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 35, p. 67-81, 2015.

LERMEN, C.; FERREIRA, F. G.; CAMILOTTI, J.; RAIMUNDO, K. F.; URCOVICHE, R. C.; GUELLIS, C.; ALBERTON, O. Potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com aveia em Umuarama – PR. **Arq. Ciênc. Vet. Zool.**, v. 15, n. 1, p. 49-55, 2012.

LI, L. F.; LI, T.; ZHANG, Y.; ZHAO, Z. W. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their distribution patterns related to host-plants and habitats in a hot and arid ecosystem, southwest China. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 71, p. 418-427, 2010.

LIMA, C. E. P.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J.; FONTENELLE, M. R.; CASTRO e MELO, R. A.; GUEDES, I. M. R. **Benefícios da adoção do Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2017. (Documentos, n. 156).

LÓPEZ-GARCIA, A.; JURADO-RIVERA, J. A.; CIFRE, J.; BARAZA, E. Space and Vine Cultivar Interact to Determine the Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community Composition. **J. Fungi**, v. 6, n. 317, p. 1-18, 2020.

LORENZI, H. (coord.). **Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional**. 7 ed. Nova Odessa: Plantarum, 2014. 384 p.

LOREZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas**. 4.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2008. 640 p

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. S.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono Orgânico Total e Agregação do Solo em Sistema de Plantio Direto Agroecológico e Convencional de Cebola. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p. 1212-1224, 2015.

LOSS, A.; GONZATTO, R.; CESCO, S.; MIMMO, T.; PII, Y.; VENTURA, B. S.; GIUMBELLI, L. D.; SOARES, C. R. F. S.; PAULA, B.; BRUNETTO, G. Rizosfera e as reações que ocorrem no seu entorno. *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. São Paulo: Expressão Popular, 2019. cap. 10, p. 179-214.

LOSS, A.; JUNIOR, E. S.; SCHMITZ, D.; VEIGA, M.; KURTZ, C.; COMIN, J. J. Atributos físicos do solo em cultivo de cebola sob sistemas de plantio direto e preparo convencional. **REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS**, v. 11, n. 1, p. 105-113, 2017.

LUMINI, R.; ORGIAZZI, A.; BORRIELLO, R.; BONFANTE, P.; BIANCIOTT, V. Disclosing arbuscular mycorrhizal fungal biodiversity in soil through a land-use gradient using pyrosequencing approach. **Environmental Microbiology**, v.12, n. 8, p. 2165–2179, 2010.

MAČEK, I. Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities Pushed Over the Edge – Lessons from Extreme Ecosystems. *In*: LUNAK, M.; GRENNI, P.; GAMBONI, M. (Ed.). **Soil Biological Communities and Ecosystem Resilience**. Nova York: Springer, 2017. cap. 10. p. 157-172.

MADEIRA, N. R. Inovações tecnológicas no cultivo de hortaliças em sistemas de plantio direto. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 4024-4032, 2009.

MADEIRA, N. R.; LIMA, C. E. P.; MELO, R. A. C.; FONTENELLE, M. R.; SILVA, J.; FILHO, M. M.; GUEDES, I. M. R. **Cultivo do tomateiro em Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)**. Anápolis: Embrapa Hortaliças, 2019. 30 p. (Circular técnica, n. 168).

MAFRA, A. L.; COMIN, J. J.; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V. H.; LOVATO, P. E.; WILDNER, L. P. INICIANDO O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE HORTALIÇAS: ADEQUAÇÕES DO SOLO E PRÁTICAS DE CULTIVO. *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.;

COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**. São Paulo: Expressão Popular, 2019. cap. 11, p. 215-226.

MAGURRAN, A. E. **Ecological Diversity and its measurement**. Princeton: Princeton University Press, 1988. 192 p.

MANJARREZ, J. S.; HERNÁNDEZ, P. S.; HERNÁNDEZ, P. C.; MENDOZA, I. E. M.; CORREA, G. V.; HERNÁNDEZ, A. C.; DÍAZ, C. H.; POILLON, M. S.; TUINEN, D. V.; BECERRIL, F. R. **Botanical Sciences**, v. 97, n. 4, p. 661-674, 2019.

MAPA. Ministério da Agricultura e Abastecimento. PORTARIA Nº 529, DE 18 DE AGOSTO DE 1995. Norma de Identidade, Qualidade, Acondicionamento e Embalagem da Cebola, para fins de comercialização. **Diário Oficial da União**: 01/09/95. Brasília, 1995. 6 p. Disponível em: <http://www.cidasc.sc.gov.br/classificacao/files/2012/08/POR00000529.pdf>. Acesso em 27 mai. 2020.

MASSESSINI, A. M.; BONDUKI, V. H. A.; MELO, C. A. D.; TÓTOLA, M. R.; FERREIRA, F. A.; COSTA, M. D. Soil microorganisms and their role in the interactions between weeds and crops. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 873-884, 2014.

MCGONIGLE, T. P., MILLER, M. H., EVANS, D. G., FAIRCHILD, G. L.; SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, p. 495-501, 1990.

MEDEIROS, G. B.; CALEGARI, A.; GAUDÊNCIO, C. **Rotação de culturas**. Curitiba: SEAB, 1994. 2 ed. 372 p.

MELLONI, R.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 267-276, 2003.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesq. agropec. bras.**, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.

MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um latossolo vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 435-443, 2003.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; OTSUBO, A. A.; MELHORANÇA, A. L. Avaliação de plantas daninhas após cultivos de mandioca sob diferentes coberturas vegetais. **Ensaios e ci.**, v. 11, n. 1, p.33-40, 2007.

MERGULHÃO, A. C. E. S.; SILVA, M. V.; LYRA, M. C. C. P.; FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, M. L. R. B.; MAIA, L. C. Caracterização morfológica e molecular de fungos

micorrízicos arbusculares isolados de áreas de mineração de gesso, Araripina, PE, Brasil. **Hoehnea**, v. 41, n. 3, p. 393-400, 2014.

MESCHEDE, D. K.; FERREIRA, A. B.; RIBEIRO-JÚNIOR, C. C. Avaliação de diferentes coberturas na supressão de plantas daninhas no cerrado. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 465-471, 2007.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Contribuição de Micorriza Arbuscular para a Produtividade e Sustentabilidade nos Sistemas de Produção com Plantio Direto e Convencional no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 6 p. (Comunicado técnico, n. 134). (a)

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Impacto do Sistema de Plantio Direto na Diversidade de Espécies de Fungos Micorrizicos Arbusculares Nativos em Solo de Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 4 p. (Comunicado técnico, n. 135). (b)

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N.; VILELA, L.; VARGAS, M. A.; CARVALHO, A. M. **Manejo da Micorriza Arbuscular por meio da Rotação de Culturas nos Sistemas Agrícolas do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 3 p. (Comunicado técnico, n. 42).

MIRANDA, J. C. C.; VILELA L.; MIRANDA, L. N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, 2005.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. Ed. do Autor, Chapecó. 1991. 336 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 2006. 729 p.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes**: Hortifrúti. São Paulo: FMC, 2011. 1017 p.

MORGAN, B. S. T.; EGERTON-WARBURTON, L. M. Barcoded NS31/AML2 primers for sequencing of arbuscular mycorrhizal communities in environmental samples. **Applications in Plant Sciences**, v.5, n. 8, p. 1-17, 2017.

NAKATANI, A. S.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; LAMBAIS, M. R. Comunidades microbianas, atividade enzimática e fungos micorrízicos em solo rizosférico de "landfarming" de resíduos petroquímicos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 1501-1512, 2008.

NICHOLLS, C. I.; ALTIERI, M. Á.; VAZQUEZ, L.; VENTURA, B. S.; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J. Sistema de plantio direto de hortaliças: princípios de transição para sistemas de produção ecológicos e redesenho de propriedades familiares. *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. (Orgs.).

**Sistema de plantio direto de hortaliças.** São Paulo: Expressão Popular. 2019. cap 3. p. 55-64.

NJERU, E. M.; AVIO, L.; BOCCI, G.; SBRANA, C.; TURRINI, A.; BÀRBERI, P.; GIOVANNETTI, M.; OEHL, F. Contrasting effects of cover crops on 'hot spot' arbuscular mycorrhizal fungal communities in organic tomato. **Biol Fertil Soils**, n. 51, p. 151–166, 2015.

NOVAIS, C. B.; SOUZA, F. A.; SIQUEIRA, J. O. Caracterização fenotípica e molecular de esporos de fungos micorrízicos arbusculares mantidos em banco de germoplasma. **Pesq. agropec. bras.**, v. 45, n. 8, p. 806-896, 2010.

O'CONNOR, P.J.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herbland. **New Phytologist**, v. 154, p. 209-218, 2002.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; MÄDER, P.; DUBOIS, D.; INEICHEN, K.; BOLLER, T., WIEMKEN, A. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Oecologia**, v. 138, p. 574 –583, 2004.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; WAGNER, H. **Package "vegan"**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2020. 298 p

OLIVEIRA, C. A.; SÁ, N. M. H.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E.; SCOTTI, M. R.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; ALVES, V. M. C. Assessment of the mycorrhizal community in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.) genotypes contrasting for phosphorus efficiency in the acid savannas of Brazil using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). **Applied soil ecology**, v. 41, p. 249–258, 2009.

ÖPIK, M.; VANATOVA, A.; VANATOVA, E.; MOORA, M.; DAVISON, J.; KALWIJ, J.; REIER, U.; ZOBEL, M. The online database MaarjAM reveals global and cosystemic distribution patterns in arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). **New Phytologist**, v.188, p. 223–241, 2010.

ORTAS, I.; SARI, N.; AKPINAR, C.; YETISIR, H. Selection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Species for Tomato Seedling Growth, Mycorrhizal Dependency and Nutrient Uptake. **Europ. J. Hort. Sci.**, v. 78, n. 5, p. 209–218, 2013.

ØVREÅS, L.; FORNEY, L.; DAAE, F. L., TORSVIK, V. Distribution of bacterioplankton in meromictic Lake Saelenvannet, as determined by denaturing gradient gel electrophoresis of PCR-amplified gene fragments coding for 16S rRNA. **Appl Environ Microbiol.**, v. 63, p. 3367-3373, 1997.

PACHECO, L. P.; BARBOSA, J. M.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura nas culturas de arroz de terras altas e de soja. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 35, p. 1787-1799, 2011.

PACHECO, L. P.; PETTER, F. A.; SOARES, L. S.; SILVA, R. F.; OLIVEIRA, J. B. S. Sistemas de produção no controle de plantas daninhas em culturas anuais no Cerrado Piauiense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 500-508, 2016.

PAULA, A. M.; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Biomassa, atividade microbiana e fungos micorrízicos em solo de "landfarming" de resíduos petroquímicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 448-455, 2006.

PAUVERT, C.; BUÉE, M.; LAVAL, V.; EDEL-HERMANN, V.; FAUCHERY, L.; GAUTIER, A.; LESUR, I.; VALLANCE, J.; VACHER, C. Bioinformatics matters: The accuracy of plant and soil fungal community data is highly dependent on the metabarcoding pipeline. **Fungal Ecology**, v. 41, p. 23-33, 2019.

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

PEREIRA, V. S.; GIONGO, V.; LIMA, R. L. F. A. Micorrizas Arbusculares como Indicador Biológico para Seleção de Modelos de Agroecossistemas Multifuncionais: 2. Frutícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 3108-3124, 2021.

PEREIRA, W.; MELO, W. F. **Manejo de plantas espontâneas no sistema de produção orgânica de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 8 p. (Circular técnica, n. 62).

PERONI, N.; HERNANDÉZ, M. I. M. **Ecologia de Populações e Comunidades**. Florianópolis: Centro de Ciências Biológicas da UFSC, 2011. 127 p.

PITELLI, R. A. **Efeitos de períodos de convivência e de controle das plantas daninhas no crescimento, nutrição mineral, e produtividade da cultura da cebola (*Allium cepa* L.)**. 1987. 140 f. Tese (Livre Docência em Ecologia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1987.

PITELLI, R. A. Estudos fitossociológicos em comunidades infestantes de agroecossistemas. **J. Conserb**, v. 1, n. 2, p. 1-7, 2000.

PONTES, J. C.; OEHL, F.; MARINHO, F.; COYNE, D.; SILVA, D. K. A.; YANO-MELO, A. M.; MAIA, L. C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil's Caatinga and experimental agroecosystems. **Biotropica**, v. 49, n. 3, p. 413-427, 2017.

PORTER, W. M. The 'Most Probable Number' Method for Enumerating Infective Propagules of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Soil. **Aust. J. Soil Res.**, v. 17, p. 515-519, 1979.

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 34, p. 693-700, 2010.

PRATES, C. J. N.; VIANA, A. E. S.; BONFIM, J. A.; SANTOS, C. V.; TRINDADE, D. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca em função do preparo de solo e da adubação. **Agroecossistemas**, v. 13, n. 1, p. 84 – 103, 2021.

PRIMAVESI, A. M. **Algumas plantas indicadoras**: como reconhecer os problemas do solo. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 48 p.

PUIATTI, M. **Olericultura**: a arte de cultivar hortaliças. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2019. 184 p.

R Core Team. **R**: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2003. 2673 p.

RAMOS, M. L. G.; KONRAD, M. L. F.; SILVA, D. E.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; BATISTA, L. M. T. Diversidade de fungos micorrízicos e colonização radicular, em forrageiras solteiras e em consórcio com milho. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 2, p. 235-244, 2012.

REDIN, M.; GIACOMINI, S. J.; FERREIRA, P. A. A.; ECKHADT, D. P. Plantas de cobertura de solo e agricultura sustentável: espécies, matéria seca e ciclagem de carbono e nitrogênio. *In*: TIECHER, T. (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil**: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016. cap 1. p. 7-22.

REGINATTO, M.; BONOME, L. T. S.; GIOVANETTI, L. K.; BITTENCOURT, H. V. H.; TORMEN, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Potencial alelopático do extrato aquoso de plantas de adubação verde sobre plantas daninhas e milho. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e5859108579, 2020.

REGINATTO, M.; GIOVANETTI, L. K.; LEITE, K.; BONOME, L. T. S.; BITTENCOURT, H. V. H.; MOURA, G. S. Alelopatia de Exsudatos Radiculares de Plantas de Adubação Verde na Germinação e Crescimento de Plântulas de Plantas Daninhas. *In*: Simpósio de Manejo Integrado de Plantas Daninhas do Sudoeste do Paraná, 1, 2018, Pato Branco. **Anais** [ ... ] Pato Branco: UTFPR, 2018.

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 and Soil**, v.233, p.167-177, 2001.

RIZZARDI, M. A.; SILVA, L. F.; VARGAS, L. Controle de plantas daninhas em milho em função de quantidades de palha de nabo forrageiro. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 263-270, 2006.

- ROWE, E. Manejo agroecológico da vegetação espontânea na cultura da cebola. *In*: WORDELL FILHO, J. A.; ROWE, E.; GONÇALVES, P. A. S.; DEBARBA, J. F.; BOFF, P.; THOMAZELLI, L. F. **Manejo fitossanitário na cultura da cebola**. Florianópolis: Epagri, 2006. cap. 5. p. 190-227.
- SALLES, J. F.; SOUZA, F. A. **Revisões em Micorriza I: Técnicas Moleculares Aplicadas ao Estudo dos Fungos Micorrízicos Arbusculares**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 27 p. (Documentos, n. 68).
- SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (org.). **Sistema Plantio Direto**. Brasília: EMBRAPA SPI, 1998. 254 p.
- SANDERS, I. R.; RODRIGUES, A. Aligning molecular studies of mycorrhizal fungal diversity with ecologically important levels of diversity in ecosystems. **The ISME Journal**, v. 10, p. 2780–2786, 2016.
- SANTOS, E. A.; FERREIRA, L. R.; COSTA, M. D.; SILVA, M. C. S.; REIS, M. R.; FRANÇA, A. C. Occurrence of symbiotic fungi and rhizospheric phosphate solubilization in weeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 49-55, 2013. (a)
- SANTOS, E.; SOARES, C. R. F. S.; STURMER, S. L.; HEBERLE, D. A.; LOVATO, P. E.; PERUCH, L. A. M. Potencial de Inóculo e Colonização Micorrízica da Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) sob Manejo de Plantas de Cobertura. *In*: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, 2013, Florianópolis, **Anais [ ... ]**. Florianópolis: SBCS, 2013. 4 p. (b)
- SANTOS, J. B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; COSTA, M. D.; SILVA, A. F. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 683-691, 2005.
- SANTOS, V. L. S.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; BERBARA, R. L. L. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares e glomalina em ecossistemas de Mata Seca, Brasil. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 117, n. 1, p. 13-21, 2018.
- SARTORI, V. C.; SILVA-RIBEIRO, R. T.; SCUR, L.; PANSERA, M. R.; RUPP, L. C.; VENTURIN, L. (Org.). **Adubação verde e compostagem: Estratégias de Manejo do Solo para Conservação das Águas**. Caxias do Sul: Educs, 2011. 17 p.
- SATO, K.; SUYAMA, Y.; SAITO, M.; SUGAWARA, K. A new primer for discrimination of arbuscular mycorrhizal fungi with polymerase chain reaction-denature gradient gel electrophoresis. **Grassland Science**, v. 51, p. 179–181, 2005.
- SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Florianópolis: SBCS - Região Sul. 2016. 376 p.



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

SCHUSTER, S. C. Next-generation sequencing transforms today' s biology. **Nature**, v. 5, p. 16–18, 2008.

SEBIOMO, A.; OGUNDERO, V. W.; BANKOLE, S. A. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 5, p. 770-778, 2011.

SILVA, E. M. R.; SUDO, A.; ALMEIDA, D. L.; MATOS, R. M. B.; PEREIRA, M. G.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, C. T. T. **Ocorrência e Efetividade de Fungos Micorrízicos em Plantas Cultivadas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 27 p. (Documentos, n. 83).

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesq. agropec. bras.**, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, P. H. S.; NASCIMENTO, I. S. A.; COELHO, C. B.; SILVA, P. B.; LIMA, R. L. F. A. Micorrizas arbusculares em hortaliças das famílias Asteraceae, Aliaceae, Apiaceae, Amaranthaceae e Brassicaceae, cultivadas sob manejo orgânico. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 17143-17155, 2021.

SILVA, R. F.; MARCO, R.; BERTOLLO, G. M.; MATSUOKA, M.; MENEGOL, D. R. Influência do uso do solo na ocorrência e diversidade de FMAs em Latossolo no Sul do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, suplemento 1, p. 1851-1862, 2015.

SILVA, W. F.; LIMA, A. M. S.; LOPES, E. A. Levantamento de fungos micorrízicos arbusculares em associação a espécie vegetal *Manihot esculenta* Crantz. **DIVERSITAS JOURNAL**, v. 6, n. 4, p.3779-3795, 2021.

SIMON, L.; LALONDE, M.; BRUNS, T.D. Specific amplification of 18S fungal ribosomal genes from vesicular–arbuscular endomycorrhizal fungi colonizing roots. **Appl. Environ. Microbiol.**, v. 58, p. 291–295, 1992.

SINGH, P. K.; M.; TRIPATHI, B. N. Glomalin: An arbuscular mycorrhizal fungal soil protein. **Protoplasma**, v. 250, p. 663–669, 2013

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Brasília: MEC/ABEAS/ESAL/FAEPE, 1988. 236 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3 ed. London: Academic Press. 2008. 815 p.

SOARES, D. J.; PITELLI, R. A.; BRAZ, L. T.; GRAVENA, R.; TOLEDO, R. E. B. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura de cebola (*Allium cepa*) transplantada. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 387-396, 2003.

SOUZA, F. A. **Identificação Molecular e Caracterização da Diversidade de Espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares do Gênero Gigaspora por PCR-DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2005. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 06).

SOUZA, F. A.; SCHLEMPER, T. R.; STÜRMER, S. L. A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura. *In*: LOPES, C. A.; PEDROSO, M. T. M. (Ed.). **Sustentabilidade e horticultura no Brasil: da retórica à prática**. Brasília: EMBRAPA, 2017. cap. 8, p. 223-253

SOUZA, F. A.; TRUFEM, S. F. B.; ALMEIDA, D. L.; SILVA, E. M. R.; GUERRA, J. G. M. Efeito de pré-cultivos sobre o potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares e produção da mandioca. **Pesq. agropec. bras.**, v. 34, n. 10, p. 1913-1923, 1999.

SOUZA, M. **Produção de cebola e dinâmica de emergência de plantas espontâneas sob plantas de cobertura em sistema plantio direto**. 2012. 109 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

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

SOUZA, M.; JÚNIOR, V. M.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; COUTO, R. R.; COMIN, J. J. Weed emergence in a soil with cover crops in an agroecological no-tillage system. **Planta Daninha**, v. 36, p. 1-9, 2018.

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

SOUZA, M.; VARGAS, M. M. M.; VENTURA, B. S.; JÚNIOR, V. M.; SOARES, C. R. F. S.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. **Ciência Rural**, v. 50, n. 12, p. 1-11, 2020.

SOUZA, R. F.; FIGUEIREDO, C. C.; MADEIRA, N. R.; ALCÂNTARA, F. A. Effect of management systems and cover crops on organic matter dynamics of soil under vegetables. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, p. 923-933, 2014.

SOUZA, R. F.; MADEIRA, N. R.; FIGUEIREDO, C. C. Perdas de solo, água e nutrientes em área cultivada com hortaliças sob sistema de plantio direto. **Revista Científic@**, v. 1, n.1, p. 38-49, 2014.

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612–618, 2006.

STORKEY, J. Modelling Seedling Growth Rates of 18 Temperate Arable Weed Species as a Function of the Environment and Plant Traits. **Annals of Botany**, v. 93, p. 681-689, 2004.

STURM, D. J.; PETEINATOS, G.; GERHARDS, R. Contribution of allelopathic effects to the overall weed suppression by different cover crops. **Weed Research Society**, v. 58, p. 331–337, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4 Ed. Porto Alegre: ARTMED, 2009. 848 p.

TAYLOR, D. L.; WALTERS, W. A.; LENNON, N. J.; BOCHICCHIO, J.; KROHN, A.; CAPORASO, J. G.; PENNANEN, T. Accurate Estimation of Fungal Diversity and Abundance through Improved Lineage-Specific Primers Optimized for Illumina Amplicon Sequencing. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 82, n. 24, p. 7217-7226, 2016.

TEASDALE, J. R; MOHLER, C. L. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. **Weed Science**, v. 48, p. 385-392, 2000.

THIEL, C. H.; DAVID, F. A.; GALON, L.; DEUNER, S.; FORTE, C. T.; PERIN, G. F.; DAVID, P. R.; MOSSI, A. J.; ANDRES, A.; CONCENÇO, G. Physiology of Weeds in Intraspecific Competition. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 6, 2018.

TRINCHERA, A.; CIACCIA, C.; TESTANI, E.; BARATELLA, V.; CAMPANELLI, G.; LETEO, F.; CANALI, S. Mycorrhiza-mediated interference between cover crop and weed in organic winter cereal agroecosystems: The mycorrhizal colonization intensity indicator. **Ecol. Evol.**, v. 9, p. 5593-5604, 2019.

TRUBER, P. V.; CERZINI, P.; MACHINESK, O.; CALEGARI, A.; ELCIO, L. B. Efeito do pré-cultivo de diferentes coberturas de Inverno no potencial de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares. **Synergismus scyentifica**, v. 4, n. 1, p. 1-3, 2009.

VALARINI, P. J.; OLIVEIRA, F. R. A.; SCHILICKMANN, S. F.; POPPI, R. J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 485-491, 2011.

VASAR, M.; ANDRESON, R.; DAVISON, J.; JAIRUS, T.; MOORA, M.; REMM, M.; YOUNG, J. P. W.; ZOBEL, M.; OPIK, M. Increased sequencing depth does not

increase captured diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v. 27, p. 761–773, 2017.

VASCONCELOS, M. C. C.; SILVA, A. F. A.; LIMA, R. S. Interferência de Plantas Daninhas sobre Plantas Cultivadas. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 8, n. 1, p. 01-06, 2012.

VATOVEC, C.; JORDAN, N.; HUERD, S. Responsiveness of certain agronomic weed species to arbuscular mycorrhizal fungi. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 20, n. 3, p. 181–189, 2005.

VEIGA, R. S. L.; JANSA, J.; FROSSARD, E.; HEIJDEN, M. G. A. Can Arbuscular Mycorrhizal Fungi Reduce the Growth of Agricultural Weeds? **Plos one**, v. 6, n. 12, p. 1-10, 2011.

VENTURA, B. S. **Dinâmica da comunidade micorrízica arbuscular e fosfatase ácida em solos com plantas micorrízicas e não micorrízicas**. 2022. Tese (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. (no prelo).

VENTURA, B. S.; MEYER, E.; SOUZA, M.; VIEIRA, A. S.; SCARSANELLA, J. A.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in an onion no-tillage system. **Ciência Rural**, v. 51, n. 10, p. 1-16, 2021.

VEZZANI, F. M.; FERREIRA, G. W.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Conceitos, métodos de avaliação participativa e o SPDH como promotor de qualidade do solo. *In*: FAYAD, J. A.; ARL, V.; COMIN, J. J.; MAFRA, A. L.; MARCHESI, D. R. (Orgs.). **Sistema de plantio direto de hortaliças**. São Paulo: Expressão Popular. 2019. cap 6. p. 107-126.

VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M. Potencial da utilização de coberturas vegetais de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 217-233, 2004.

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

VLČEK V.; POHANKA M. Glomalin – an interesting protein part of the soil organic matter. **Soil & Water Research**, v. 15, p.67-74, 2020.

VOLL, E.; TORRES, E.; BRIGHENTI, A.M.; GAZZIERO, D. L. P. Dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo de solo. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p.171-178, 2001.

WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 1191-1197, 1997.

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

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

XIANG, D.; CHEN, B.; LI, H. Specificity and selectivity of arbuscular mycorrhizal fungal polymerase chain reaction primers in soil samples by clone library analyses. **SOIL & PLANT SCIENCE**, v. 66, n. 4, p. 333-339, 2016.

XING, D.; WANG, Z.; XIAO, J.; HAN, S.; LUO, C.; ZHANG, A.; SONG, L.; GAO, X. The composition and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in karst soils and roots collected from mulberry of different ages. **Ciência Rural**, v.48, n. 10, p.1-14, 2018

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.