



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

Bárbara Santos Ventura

Efeitos da micotrofia de plantas de cobertura na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e na disponibilidade de fósforo para cebola em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH)

Florianópolis

2022

Bárbara Santos Ventura

Efeitos da micotrofia de plantas de cobertura na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e na disponibilidade de fósforo para cebola em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH)

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutora em Ciências  
Orientador: Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato

Florianópolis

2022

Ventura, Bárbara Santos

Efeitos da micotrofia de plantas de cobertura na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e na disponibilidade de fósforo para cebola em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) / Bárbara Santos Ventura ; orientador, Paulo Emílio Lovato, 2022.

72 p.

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

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Micorrizas Arbusculares. 3. Plantio Direto. 4. Fósforo. 5. Enzima. I. Lovato, Paulo Emílio. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. III. Título.

Bárbara Santos Ventura

Efeitos da micotrofia de plantas de cobertura na ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e na disponibilidade de fósforo para cebola em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH).

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

Prof.(a), Dr.(a) Arthur Prudêncio de Araújo Pereira  
Universidade Federal do Ceará

Prof.(a), Dr.(a) Jucinei José Comin  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a), Dr.(a) Claudio Roberto Fonseca Sousa Soares  
Universidade Federal de Santa Catarina

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

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof. Dr.  
Paulo Emílio Lovato

Florianópolis, 2022

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe Bernadete Ventura, primeiramente por ter me dado à vida e as condições para que eu concluísse mais uma etapa na minha formação profissional. Por abraçar meu filho durante os 11 anos que não pude estar ao lado dele.

Ao meu filho Carlos Eduardo Ventura, que me dá força para seguir.

A minha irmã Lara Santos Ventura, por dar o exemplo de perseverança nas escolhas.

Ao meu irmão Alberto Ventura, que ao lado de nossa mãe tem sido um segundo pai para meu filho.

Ao meu companheiro e amigo Felipe Pereira Batista, pela presença, por valorizar a importância do meu trabalho, e pela paciência nessa etapa final, que em meio a pandemia do Covid-19 deixou milhares de pesquisadores a mercê da saúde mental.

Ao meu orientador, Paulo Emílio Lovato, pela valiosa dedicação e paciência durante a elaboração da tese.

Aos professores, Jucinei José Comin, Arcângelo Loss e Cledimar Rogério Lourenzi pelo apoio e confiança.

À toda a equipe da Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga.

Aos colegas do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia - NEPEA, pelos ensinamentos e por demonstrar a importância de um grupo interdisciplinar na universidade.

A todos os funcionários (as) e professores (as) que de alguma forma contribuíram para minha formação.

A todos (as) que por algum motivo não mencionei, mais que contribuíram de alguma forma durante esses anos de tese.

## APRESENTAÇÃO

Esta tese foi desenvolvida, vinculada ao Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-SC) da Universidade Federal de Santa Catarina (Chamada MCTI/MAPA/MDA/MEC/MPA/CNPq N° 81/2013) em um experimento implantado em 2009 com a cultura da cebola (*Allium cepa* L.) na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), localizada no município de Ituporanga, região do Alto Vale do Itajaí, estado de Santa Catarina. O referido experimento faz parte de uma proposta metodológica como estratégia para transição agroecológica, o Sistema Plantio direto de Hortaliças (SPDH).

Este trabalho está incluso no projeto intitulado Rendimento, atributos químicos, físicos e biológicos do solo e manejo de plantas espontâneas sistema plantio direto agroecológico de cebola financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), em que, dentre os trabalhos concluídos e em andamento, estão nove dissertações de mestrado e três teses de doutorado:

Trabalhos concluídos em ordem cronológica:

- 1) VILANOVA, C. C. Sistema de plantio direto de cebola: contribuições das plantas de cobertura no manejo ecológico de plantas espontâneas. 2011. 78f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 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. 49f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.
- 3) SOUZA, M. Produção de cebola e dinâmica de emergência de plantas espontâneas sob plantas de cobertura em Sistema Plantio Direto. 2012. 109f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.
- 4) MARTINS, R. P. Decomposição e Mineralização de Nutrientes de Resíduos de Plantas de Cobertura em Solo Cultivado com Cebola (*Allium cepa* L.). 2013. 61f. Dissertação

(Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

5) 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. 101f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2015.

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

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

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

9) SOUZA, M. Desempenho agrônomo e estudo fitoquímico de plantas de cobertura em sistema de plantio direto agroecológico de cebola. 2017. Tese (Doutorado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

10) BARBOSA, T. M. Frações químicas da matéria orgânica do solo influenciadas por plantas de cobertura em sistemas de cultivo de cebola. 2016 – 2018. Dissertação em andamento (Mestranda em agroecossistema) - Universidade Federal de Santa Catarina.

#### Trabalhos em andamento:

1) OLIVEIRA, R. A. Decomposição e liberação de nitrogênio de fontes orgânicas em plantio direto de cebola agroecológico. 2015 – 2022. Tese em andamento (Doutorado em agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina.

2) BORTOLINI, J. G. Influência dos fungos micorrízicos arbusculares na agregação e atividade enzimática do solo em Sistema de Plantio Direto Agroecológico de cebola (*Allium cepa* L.). 2017-2022. Tese em andamento (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina.

3) Oliveira, Leonardo K. G. Influência do caráter micotrófico das plantas de cobertura na diversidade de fungos micorrízicos arbusculares e plantas espontâneas em Sistema de Plantio Direto de Cebola. 2020-2022. Dissertação em andamento (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina.

Todos estes trabalhos vêm contribuindo na geração de conhecimento e fortalecimento do SPDH enquanto movimento, que busca através da tomada de decisão consciente do agricultor em adotar tal sistema, a redução até total eliminação do uso de agrotóxico, bem como busca um redesenho da propriedade em que se tenha o aumento da diversidade vegetal e diversidade microbiológica do solo, buscando estabelecer relações de equilíbrio no sistema produtivo com foco em promoção de saúde de plantas. Na prática os estudos aqui feitos contribuem para o caminhar do SPDH, demonstrando que o manejo escolhido para o cultivo de hortaliças contribui no aumento de produtividade da cultura de interesse econômico além de contribuir na melhoria na qualidade química e biológica do solo, garantindo à longo prazo a manutenção da agricultura que depende dos recursos naturais.



## RESUMO

A cebola é cultivada predominantemente em sistema de preparo convencional, com revolvimento do solo, que ocasiona degradação dos solos. Como alternativa para melhorar a conservação dos recursos naturais, o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) usa culturas de cobertura para formar uma camada de biomassa sobre o solo e reduzir o revolvimento do solo, limitado às linhas de plantio. Tais práticas de manejo afetam a diversidade da comunidade de microrganismos, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), e atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Para verificar se as culturas de cobertura micorrízicas e não-micorrízicas afetam a ocorrência de FMA, a atividade da fosfatase ácida e a disponibilidade e absorção de fósforo do solo pelas plantas, foram realizadas avaliações em um experimento de longa duração, em SPDH com cebola em Ituporanga, SC. Os tratamentos foram: aveia preta (*Avena strigosa*) micorrízica; centeio (*Secale cereale*) micorrízica; nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) não micorrízica; centeio + nabo forrageiro; aveia preta + nabo forrageiro e testemunha com vegetação espontânea, que inclui plantas micorrízicas e não micorrízicas. Foram avaliadas uma área em sistema de preparo convencional e uma floresta, adjacentes ao experimento. A ocorrência de espécies de FMA foi avaliada pela morfologia de esporos. Mediram-se biomassa da cultura de cobertura, rendimento de cebola, atividade de fosfatase ácida, fósforo do solo extraído por resina, fósforo da parte aérea e das raízes e a colonização das raízes em plantas de cobertura, plantas espontâneas e cebola. Nas raízes das plantas espontâneas mais encontradas destacam-se as famílias Glomeraceae e Acaulosporaceae. As espécies de FMA com maior ocorrência foram *Funneliformis mosseae*, *Funneliformis geosporum*, *Glomus sp1* e *Claroideoglobus etunicatum*. Os tratamentos com plantas de cobertura tiveram a maior biomassa vegetal durante o inverno e os maiores rendimentos de cebola. A atividade de fosfatase ácida e fósforo disponível no solo foram maiores nas parcelas sob plantio direto que na área sob preparo convencional. A presença de nabo forrageiro, planta não micorrízica, foi associada a reduções na colonização de raízes de centeio e cebola por fungos micorrízicos arbusculares. As áreas de plantio direto com plantas de cobertura ou plantas espontâneas no inverno acumularam mais fósforo que as áreas sob preparo convencional. O sistema de preparo convencional mostrou efeitos adversos para a maioria dos atributos do solo.

**Palavras-chave:** Micorrizas arbusculares, colonização micorrízica, plantio direto, preparo convencional do solo, *Allium cepa*; fosfatase ácida; fósforo extraído por resina

## ABSTRACT

Onion is predominantly grown in conventional tillage systems that involve intense soil disturbance, leading to soil degradation in onion-producing regions in southern Brazil. As an alternative to improve the conservation of natural resources, the no-tillage system of vegetables uses cover crops that aims to form a layer of biomass over the soil and limit soil disturbance to the planting lines. These management practices affect the community's diversity of soil microorganisms, such as arbuscular mycorrhizal fungi, and improve soil physical, chemical, and biological attributes. Evaluations were carried out in a long-term experiment in a no-tillage system of vegetables with onion culture in Ituporanga, southern Brazil, to understand whether mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops influence the influence of mycorrhizal the occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi, acid phosphatase activity, and phosphorus soil availability and plant uptake. The treatments were: black oats (*Avena strigosa*) which are mycorrhizal; rye (*Secale cereale*) mycorrhizal; oilseed radish (*Raphanus sativus*) considered non-mycorrhizal; rye + oilseed radish; black oat + oilseed radish and the control with spontaneous vegetation that includes mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in its composition. In addition, two other plots were evaluated, an area in a conventional tillage system and a forest, both adjacent to the experiment. The occurrence of arbuscular mycorrhizal fungal species was evaluated by spore morphology. Cover crop biomass, onion yield, acid phosphatase activity, soil resin-extracted phosphorus content in shoots and roots, and root colonization in cover crops, onion, and spontaneous plants were evaluated. FMA from the Glomeraceae and Acaulosporaceae families predominated in the most common spontaneous plants. The most frequent AMF species were *Funneliformis mosseae*, *Funneliformis geosporum*, *Glomus* sp1, and *Claroideoglomus etunicatum*. The treatments with cover crops had the highest plant biomass during winter, resulting in the highest onion yields. Acid phosphatase activity and soil available phosphorus were higher with no-tillage than conventional tillage. The radish, a non-mycorrhizal plant, was associated with reductions in root mycorrhizal colonization in rye and onion roots. In winter, no-tillage areas with cover crops or weeds accumulated more phosphorus than areas under conventional tillage. The conventional tillage system showed adverse effects on most soil attributes.

**Key words:** Arbuscular mycorrhiza, mycorrhizal colonization, no-tillage, conventional tillage, *Allium cepa*; acid phosphatase; resin-extracted phosphorus.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Espécies de plantas espontâneas encontradas em experimento em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) durante o ciclo da cebola, no ano de 2017. M= planta micorrízica; NM= planta não micorrízica; * referência não encontrada. ....	27
Tabela 2 Atributos químicos do solo, na camada 0-10 cm, em um Cambissolo sob o Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola em Ituporanga –SC na safra 2017. ....	28
Table 3 - Winter cover crops biomass in three sampling times, and onion bulb yield in a no-tillage system with black oats (BO), rye (RY), oilseed radish (OR), as single or combined cover crops or with spontaneous plants (SP), with an adjacent conventional tillage system (CTS) having millet as summer cover crop taken as reference. DAS = days after sowing. ....	44
Table 4 - Yield of onion bulbs, separated by commercial class, in a no-tillage onion production system. ....	45
Table 5 Mycorrhizal colonization of onion in summer, with onion under conventional tillage system (CTS) taken as references. Hy: hyphae only; Ves: vesicles; Arb: arbuscules. DAS: days after cover crop sowing; DAP: days after onion planting. ....	47
Table 6 – Phosphorus concentration (PC) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) and total uptake (PU) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) in cover crops and spontaneous plants (SP), 99 days after sowing, and in onion plants, 99 days after planting. CTS: Conventional tillage system. ....	47
Table 7 Acid phosphatase (AP) activity ( $\text{ug PNP g dry soil}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) in soil under winter cover crop cycle and during summer onion cultivation, in areas with cover crops and subsequent onion cycle, area with onion under conventional tillage system (CTS) and in a forest taken as reference. ....	48
Table 8 Resin-extracted soil phosphorus ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) in the soil during the winter cover crop cycle and summer onion cultivation, in plots with cover crops and subsequent onion cycle, in areas with onion under conventional tillage system (CTS), and a forest taken as reference. ....	49

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Frequência relativa das espécies de fungos micorrízicos arbusculares, durante o ciclo das plantas de cobertura (inverno) e durante o ciclo da cebola (verão), em áreas com diferentes coberturas do solo em Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola. .... 31
- Figure 2 Número de espécies de FMA por família durante o cultivo de plantas de cobertura no inverno (a) e durante o ciclo da cebola no verão (b) em solo com cobertura de centeio (CE), nabo (N), centeio + nabo (C+N), vegetação espontânea (VE) em Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola, e em solo revolvido (SPC). .... 32
- Figura 3 Análise de coordenadas principais (PCoA), baseada na dissimilaridade de Jaccard para verificar a similaridade entre as comunidades de FMA em áreas com diferentes coberturas do solo em Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola, em duas épocas do ano. 33
- Figura 4 Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) entre a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e os atributos químicos do solo (PNF- atividade da fosfatase; P- Fósforo do solo; Ca-Cálcio; Mg-Magnésio; MO-Matéria Orgânica) Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola em duas estações do ano (inverno e verão). Foi utilizado matriz de dissimilaridade de jaccard para realização da dbRDA. .... 34
- Figure 5 Root mycorrhizal colonization (%), of rye (RY) grown singly or intercropped with oilseed radish (OR), 80 days after sowing. \* Means followed by the same letter do not differ between the RY and RY + OR treatments according to Scott-Knott test at  $P \leq 0.05$ . ... 46
- Figure 6 Analysis of regression between resin-extracted soil phosphorus and acid phosphatase activity in areas with winter cover crops or onion. A: 58 days after sowing (DAS) cover crops; B: 80 DAS; C: 99 DAS; D: 40 days after onion seedling planting (DAP); E: 99 DAP. \* Significant at  $P \leq 0.05$ . .... 50
- Figure 7 Sorting diagram of principal component analysis of soil and plant attributes. DAS: Days after sowing; DAP: Days after seedling planting; PC: Phosphorus concentration; PU: Phosphorus uptake; AP: Acid phosphatase; resin-P: Resin extracted phosphorus; Col: Onion colonization; RY: rye; OR: oilseed radish; CTS: Conventional tillage system; SP: Spontaneous plants. .... 51
- Figure 8 Total precipitation (mm) and mean temperature (°C) from June to November 2017 in Ituporanga, Brazil (data from experimental station - EPAGRI). DAS = Days after sowing; DAP = Days after seedling planting). .... 52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP – Análise de componentes principais

Al – Alumínio

ATP – Adenosina trifosfato

AV – Aveia-preta

C – Carbono

Ca – Cálcio

CE – Centeio

C+N – Consórcio de centeio e nabo forrageiro

C/N – Relação Carbono/Nitrogênio

Cfa – Subtropical mesotérmico úmido

CTC – Capacidade de troca de cátions

$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  – Centimol de carga por quilograma

$\text{cm}^3$  – Centímetros cúbicos

D – Dominantes

dbRDA – Análise de redundância baseada na distância

DNA – Ácido desoxirribonucleico

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Fe - Ferro

FMA – Fungos micorrízicos arbusculares

g – Grama(s)

$\text{g ha}^{-1}$  – Grama(s) por hectare

$\text{g kg}^{-1}$  – Grama(s) por quilograma

$\text{kg ha}^{-1}$  – Quilograma(s) por hectare

$\text{K}_2\text{O}$  – Óxido de potássio

M – Espécie micorrízica

Min – minutos

Mg – Magnésio

$\text{mg dm}^{-3}$  – Miligrama(s) por decímetro cúbico

$\text{mol L}^{-1}$  – Mol por litro

m<sup>2</sup> – Metro(s) quadrado(s)  
mg – Miligrama(s)  
Mg ha-1 – Megagrama (s) ou toneladas por hectare  
N – Nabo-forrageiro  
NM – Espécie não micorrízica  
P – Fósforo  
pH – Potencial hidrogeniônico  
Pi – Fósforo inorgânico  
Po – Fósforo orgânico  
PNF – Paranitrofenil fosfato (atividade de fosfatase)  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – Pentóxido de fósforo  
RNA- Ácido ribonucleico  
SC – Santa Catarina  
SPC – Sistema de preparo convencional  
SPD – Sistema de Plantio Direto  
SPDH – Sistema de Plantio Direto de Hortaliças  
VE – Vegetação espontânea  
v/v – volume/volume  
% – percentagem  
°C – Grau(s) Celsius

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
	2.1 Hortaliças	17
	2.2	19
	2.3	21
3.	OBJETIVOS	23
	3.1	23
	3.2	23
4.	ESTUDO 1: Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares em agroecossistemas com diferentes coberturas de solo em Ituporanga –sc.	24
	4.1.	24
	4.2.	25
	4.2.1.	25
	4.2.2.	28
	4.2.3.	29
	4.2.4.	30
	4.3.	30
	4.4.	35
	4.5.	37
5.	ESTUDO 2: Disponibilidade e absorção de fósforo no solo por plantas micorrízicas e não micorrízicas em sistema de plantio direto de cebola.	38
	Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in an onion no-tillage system	38
	5.1.	39
	5.2.	40
	5.2.1.	40
	5.2.2.	42
	5.2.3.	43
	5.2.4.	43
	5.2.5.	44
	5.3.	44
	5.3.1.	44
	5.3.2.	46
	5.3.3.	48
	5.3.4.	49
	5.4.	51
	5.4.1.	51
	5.4.2.	53
	5.4.3.	54
	5.5.	57
6.	CONCLUSÕES GERAIS	58
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A cebola é uma das hortaliças mais produzidas nacionalmente e Santa Catarina é o principal estado produtor do país, com 18 mil famílias envolvidas na atividade e aproximadamente 532 mil toneladas de produção total na safra 2019/2020 (EPAGRI, 2020) em uma área de aproximadamente 20 mil hectares (GUGEL, 2017). O manejo da cultura é realizado predominantemente em sistema de preparo convencional do solo (SPC), com uso intensivo de fertilizantes solúveis e agrotóxicos (GONÇALVES et al., 2008). Por conta desse sistema de preparo, os solos da região do Alto Vale do Itajaí encontram-se intensamente degradados em razão do uso intensivo de arações e gradagens, que potencializam as perdas de solo, água e nutrientes por erosão, além de levar à perda de biodiversidade do solo (PANACHUKI et al., 2011).

Alternativamente ao SPC, propõe-se a produção de cebola em sistema de plantio direto (SPD). Esse sistema utiliza plantas de cobertura para formar uma camada de resíduos vegetais na superfície do solo e apenas as linhas de plantio são revolvidas. As plantas de cobertura promovem a ciclagem de nutrientes, podendo absorvê-los em camadas mais profundas do solo e acumulá-los nas raízes ou na parte aérea. Os resíduos das plantas, quando depositados na superfície do solo, podem liberar os nutrientes contidos nos tecidos vegetais. Além de alterar o teor de nutrientes nas camadas mais superficiais do solo, essas plantas promovem redução da erosão, mudanças na estrutura e aumento da atividade biológica e do teor de matéria orgânica do solo (MIRANDA, et al., 2007; PAULETTI, et al., 2009).

Em Santa Catarina, o SPD teve uma “evolução”, com o Sistema Plantio Direto de Hortaliças (SPDH). Para além das técnicas de produção, o SPDH busca contribuir na geração de conhecimento e se fortalecer enquanto movimento, estimulando a tomada de decisão consciente do agricultor em adotar tal sistema, além da redução e mesmo eliminação do uso de agrotóxicos. Também se busca um redesenho da propriedade, em que ocorra aumento da diversidade vegetal e microbiológica do solo, buscando se estabelecer relações de equilíbrio no sistema produtivo com foco em promoção de saúde de plantas.

As diferentes práticas de manejo usadas no SPC e no SPD influenciam a comunidade de microrganismos como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). O preparo convencional pode reduzir a incidência de algumas espécies (SIQUEIRA, et al., 1989) que se associam com raízes de plantas e apresentam benefícios, como maior área de absorção de nutrientes,



principalmente o fósforo, favorecendo as plantas. Além disso, os FMA favorecem a agregação do solo por meio das hifas, exercendo efeito físico de união das partículas, e ainda exsudam polissacarídeos que atuam ativamente na agregação do solo ou estimulam bactérias produtoras de agentes cimentantes (SIQUEIRA et al., 1994).

A diversidade de FMA está diretamente relacionada à diversidade da cobertura vegetal (ANGELINI, et al., 2012). A simbiose é mediadora da diferenciação e expansão do nicho de plantas (VAN DER HEIJEDEN, et al.; 1998; GERZ, et al., 2018), e a reciprocidade também acontece, podendo a diversidade vegetal potencializar a fonte de inóculo natural de FMA (NEUENKAMP, et al., 2018).

Estudos que avaliam a qualidade do solo utilizando indicadores microbiológicos ainda são incipientes no SPDH. A seleção de tais indicadores, que possam ser utilizados no monitoramento da qualidade do solo pelos técnicos e agricultores, são promissores para o avanço do SPDH, pois ajudam a compreender as interações bioquímicas e ecológicas existentes. Por exemplo, as enzimas, produzidas também pelos microrganismos, podem indicar que um nutriente disponível na solução do solo pode não estar sendo absorvido pelas plantas.

Com o presente estudo busca-se conhecer a ocorrência de FMA em agroecossistemas manejados com diferentes culturas de coberturas no cultivo de cebola em SPDH além de compreender melhor a atividade da enzima fosfatase do solo em sua relação com mecanismos de disponibilidade e absorção de fósforo.

A tese encontra-se dividida em dois estudos. O primeiro estudo caracteriza a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares sob o efeito de diferentes plantas de cobertura do solo, contendo espécies de plantas micorrízicas e não micorrízicas. O segundo estudo, que resultou em artigo já publicado, caracteriza como o SPDH afeta a quantidade de massa seca produzidas pelas plantas de cobertura e sua relação com a massa seca de plantas espontâneas, atributos químicos do solo e rendimento da cebola, a incidência da simbiose nas diferentes espécies de plantas presentes e a disponibilidade no solo e a absorção de fósforo pelas plantas.

## **2. REVISÃO BLIOGRÁFICA**

### *2.1 Uso de plantas de cobertura no cultivo de cebola em Sistema plantio Direto de Hortaliças*

O aumento da procura por alimentos produzidos com o mínimo de impacto ao ambiente e ao homem tem aumentado o interesse de agricultores por sistemas alternativos de

produção e têm impulsionado técnicos e pesquisadores a buscar informações sobre a contribuição das plantas de cobertura na manutenção da capacidade produtiva e qualidade do solo (CUNHA, et al., 2011). A partir de 2003 iniciaram-se trabalhos sobre Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH) na Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga, inicialmente para a cultura da cebola e posteriormente para outras hortaliças. No SPDH a mobilização do solo fica restrita às linhas onde são transplantadas as mudas de cebola, permanecendo o restante da área coberta com resíduos da cultura antecessora (FAYAD & MONDARDO, 2004).

O material remanescente de plantas cobertura contribui para a redução da oscilação de temperatura, maior retenção de água e mais efetiva ciclagem de nutrientes além de diminuir o impacto da gota da chuva, minimizando processos erosivos (BERTOL, et al., 2007). Os resíduos vegetais atuam ainda no controle de plantas espontâneas e podem reduzir a incidência de pragas e doenças (MEDEIROS & CALEGARI, 2006).

Qualquer planta pode ser utilizada como planta de cobertura, mas existe um grupo de espécies mais utilizadas. Elas apresentam rápido crescimento, grande produção de matéria seca e efeitos alelopáticos oriundos da decomposição da fitomassa ou da exsudação radicular. As espécies de plantas de cobertura possuem diferentes produções de matéria seca da parte aérea e sua permanência no solo é regulada pela relação C/N do material vegetal, que se reflete na velocidade com que a decomposição do material ocorre, e pelo manejo adotado (DIEKOW, et al., 1997). Outra característica importante das espécies de plantas utilizadas são os diferentes tipos de raízes, que acumulam diferentes quantidades de nutrientes e interagem diferentemente com microrganismos do solo.

Entre as plantas de cobertura de verão utilizadas no Alto Vale do Itajaí destacam-se a mucuna-preta (*Mucuna aterrima* L.) e a crotalária (*Crotalaria juncea* L.). As plantas de cobertura de inverno mais utilizadas são a aveia- preta (*Avena strigosa* L.), o centeio (*Secale cereale* L.), o azevém (*Lolium multiflorum* L.) e o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Os planos de rotação mais utilizados são cebola/milho/aveia, cebola/milho/aveia + ervilhaca, cebola/milho/nabo-forrageiro e cebola/mucuna. O uso de espécies diversas de plantas de cobertura de verão e inverno proporciona melhor cobertura e implica a ação de distintos sistemas radiculares no solo (CALEGARI & COSTA, 1993). Tais sistemas radiculares influenciam de maneira significativa os fungos micorrízicos arbusculares (TRUBER, et al., 2009), por meio de exsudatos radiculares que, além de alterar o equilíbrio físico-químico dos nutrientes na rizosfera, também constituem uma fonte de carbono de fácil acesso no solo

(HINSINGER et al., 2009). As plantas podem ser não micorrízicas, facultativamente micorrízicas ou obrigatoriamente micorrízicas, e ainda diferem quanto à capacidade de alterar a ocorrência de fungos micorrízicos em suas raízes (GRMAN, 2012).

## 2.2 *Fungos micorrízicos arbusculares*

As micorrizas são associações entre raízes de plantas vasculares e micélio de determinados fungos do solo. Essa simbiose é encontrada em mais de 80% das famílias vegetais e ocorre em diversos ecossistemas terrestres. Os tipos de micorrizas são micorrizas arbusculares, arbutóides, monotropóides, ericóides, orquidóides, ectomicorrizas e ectendomicorrizas (SMITH & READ, 2008).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são simbiontes obrigatórios e estão entre os microrganismos mais comuns dos solos do mundo, associando-se com mais de 80% das espécies de plantas vasculares (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Na simbiose micorrízica arbuscular, a planta supre o fungo com energia para crescimento e reprodução via fotossintatos, e o fungo associado à raiz amplia a área de absorção de água e de nutrientes, principalmente fósforo. Os fungos ainda atuam na agregação das partículas de solo, aumentam a resistência da planta ao ataque de patógenos do sistema radicular, contribuem nos estoques de carbono, biomassa microbiana, e tem efeito na resistência da planta a contaminação por metais pesados e esgotamento de nutrientes (GIANINAZZI, et al., 2010).

Existem poucas espécies de FMA em comparação ao número de plantas que podem formar micorrizas (SMITH & READ, 2008), e por isso ocorre a associação de uma planta com mais de uma espécie de FMA. No entanto, o conhecimento sobre os padrões globais de distribuição e abundância das espécies de FMA continua, em geral, sendo escasso e há pouca informação em comparação a outros fungos (SANDERS & RODRIGUEZ, 2016). Recentemente, Sturmer, et al. (2018) fizeram um estudo de biogeografia dos Glomeromycota, que ampliou as informações referente aos FMA no planeta, fornecendo uma base para formular e testar hipóteses de padrão de distribuição.

Está demonstrado também que a simbiose micorrízica é mediadora da diferenciação e expansão dos nichos de plantas, o que facilita a compreensão dos padrões atuais de distribuição de espécies de plantas, bem como permite prever mudanças na distribuição e dominância de espécies de plantas em função mudanças ambientais (GERZ, et al., 2018), sejam naturais ou antrópicas em agroecossistemas.

Paranavithana, et al. (2021) avaliaram os impactos dos sistemas de rotação de culturas na abundância de esporos de FMA, colonização micorrízica nas raízes de arroz, frações de carbono do solo e estoques de carbono em zona climática sazonalmente seca. O estudo também examinou as correlações entre a ocorrência de FMA e os estoques de carbono do solo. Os resultados revelaram que o sistema de rotação de cultura aumenta significativamente a ocorrência de esporos de FMA no solo, carbono (C) orgânico total, C da biomassa microbiana, C solúvel em água, C lábil e uma alta colonização de FMA nas raízes do arroz na estação de cultivo subsequente.

Gosling, et al. (2016) ressaltam a importância da comunidade de FMA em promover benefícios ao hospedeiro em relação ao crescimento e a absorção de nutrientes. Em estudos com cebola em solo pobre em fósforo, inocularam de uma a sete espécies de FMA em todas as combinações possíveis. A inoculação com fungos aumentou o peso seco da parte aérea e as concentrações de fósforo e cobre na parte aérea, e ainda reduziu a concentração de potássio e enxofre. Apesar da pouca evidência de aumento do benefício em relação a alta diversidade de fungos, as espécies de Glomeraceae tiveram o maior impacto no crescimento e absorção de nutrientes.

Powell e Rilling, (2018) relatam os efeitos da biodiversidade de FMA sobre as funções do ecossistema, na supressão de patógenos, agregação do solo, balanço nutricional e demais funções primárias do ecossistema. Os autores sugerem ainda diferentes abordagens para avançar na compreensão das consequências da biodiversidade de FMA para o funcionamento dos ecossistemas, listando as etapas necessárias para orientar as pesquisas. Nesse sentido, experimentos que explorem os diferentes usos do solo, diferentes práticas agrícolas como o preparo, correção da acidez, adição de fertilizantes no solo podem ajudar nas questões de como as comunidades de FMA respondem a esses fatores antropogênicos. Tais respostas terão consequências sobre a disponibilidade de recursos no solo. Por exemplo, van der Heijden et al. (1998) constataram que a riqueza de FMA acarretou aumento das concentrações de fósforo no tecido da planta mesmo com níveis reduzidos no solo. A maioria dos solos tropicais são naturalmente pobres em fósforo disponível para as plantas, e por isso a seguir será dado enfoque na importância dos FMA em relação a esse nutriente.

### 2.3 Formas de fósforo e mineralização no solo

O fósforo (P), elemento essencial na estrutura e funcionamento de todos os organismos, é encontrado em ácidos nucleicos, fosfolipídios e ATP. No solo, o P encontra-se predominantemente em duas formas: inorgânica (Pi) e orgânica (Po). O Pi são principalmente aqueles adsorvidos aos grupos funcionais dos coloides, e o Pi do solo pode ser encontrado ligado ao Fe, Al e Ca, ou adsorvido a argilas. O Pi é bastante reativo no solo e está susceptível a diversas reações não biológicas que o tornam pouco disponível para os organismos vivos. O Po representa os íons fosfatos ligados a compostos orgânicos do solo, e sua labilidade está diretamente relacionada à suscetibilidade de decomposição do radical orgânico ao qual o fosfato está ligado (GATIBONI, et al., 2008).

O Po é de grande importância para o suprimento de P para as plantas e origina-se de materiais orgânicos, como resíduos vegetais e esterco, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. No solo, o Po é composto principalmente por fosfatos de inositol, fósforo ligado ao DNA e RNA, fosfolipídios e outros ésteres de fosfato (TURNER, 2008). A estabilidade destes compostos é dependente de sua natureza e de sua interação com a fração mineral. Isso interfere na susceptibilidade ao ataque microbiano; por exemplo, os diésteres são facilmente mineralizáveis, enquanto os fosfatos monoésteres, por possuírem alta carga residual, apresentam facilidade de interação com os coloides inorgânicos do solo e permanecem química e fisicamente protegidos, o que dificulta sua mineralização e favorece o acúmulo no solo (STEWART & TIESSEN, 1987).

Os organismos do solo estão intimamente envolvidos no ciclo do P no solo, e participam principalmente dos processos de mineralização e imobilização e da solubilização de fosfatos inorgânicos. Também tem importância os processos que envolvem as enzimas fosfatases. O solo é um sistema complexo, no qual diferentes espécies de seres vivos coabitam, interagindo entre si e com as partículas do solo. Esses organismos, durante seu ciclo, produzem substâncias que são liberadas para o ambiente. Dentre tais substâncias estão as enzimas, que podem ser de origem animal, vegetal ou microbiológica. Essas proteínas catalisadoras de reações podem ser intracelulares ou extracelulares, e atuam sobre compostos orgânicos, deixando-os em tamanhos e formas capazes de ser assimilados pelas plantas. As enzimas são vitais na catalisação de atributos bioquímicos e exercem um importante papel na funcionalidade dos solos (ADETUNJI, et al., 2017; DATTA, et al., 2017). A atividade dessas enzimas tem sido apontada como um importante indicador da qualidade do solo (ADETUNJI, et al., 2017), da

decomposição da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes decorrentes das práticas de manejo.

Na ciclagem do fósforo, as enzimas atuam na mineralização bioquímica do Pi presente nos compostos orgânicos, através de hidrólise de ésteres fosfato (MOREIRA & SIQUEIRA 2006). A fosfomonoesterase, a mais estudada entre as fosfatases presentes no solo, hidrolisa os monoésteres de fosfato de nucleotídeos e fosfolipídios para produzir fosfato livre para absorção biológica. No entanto, ocorre também a hidrólise de P na forma de diésteres (ácidos nucleicos) e na forma de inositol. Fosfatases que hidrolisam monoéster frequentemente tem sua atividade máxima em pH ácido ou alcalino (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006); as fosfatases alcalinas são produzidas principalmente por bactérias e as ácidas são produzidas principalmente por plantas e fungos.

A atividade das fosfatases é influenciada por fatores como pH, umidade, CTC e outros atributos do solo. À medida que o pH do solo aumenta, a atividade da fosfatase alcalina aumenta, enquanto a atividade da fosfatase ácida diminui (DICK, et al., 2000). O efeito da umidade também se reflete na atividade desta enzima, Sardans e Penuelas (2004) observaram que quando a umidade do solo foi reduzida em 21%, houve uma redução de 31-40% na atividade da fosfatase ácida. Quando uma proteína enzimática é liberada para o solo, ela pode ser imediatamente metabolizada pelos microrganismos ou se associar física ou quimicamente aos colóides. Datta et al (2017) apresentam resultados sobre as formas em que as enzimas são adsorvidas na superfície da fase sólida do solo e como diferentes fatores afetam a atividade enzimática no solo. Na sua revisão esses autores enfatizam a cinética da adsorção enzimática, e mencionam vários fatores que afetam a atividade da enzima adsorvida no solo.

Está demonstrado que plantas que se associam aos FMA tem mais facilidade em absorver P disponível no solo (TAWARAYA, et al., 2006; VAN AARLE & PLASSARD, 2010), e há evidências que FMA liberem fosfatases no solo (SATO, et al., 2015). A origem dessa proteína no solo não está esclarecida, não havendo evidências se é proveniente do fungo ou das plantas, pois ecossistemas com a presença de plantas consideradas não micorrízicas também possuem significativa atividade de fosfatase (KUNZE, et al., 2011).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 *Objetivo Geral***

Avaliar a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em sistema de plantio direto de cebola manejados com plantas de cobertura micorrízicas e não micorrízicas e sua relação com a disponibilidade de fósforo no solo e absorção pelas plantas.

#### **3.2 *Objetivos Específicos***

Identificar como espécies de culturas de cobertura, micorrízicas e não micorrízicas, afetam a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares no solo.

Avaliar a incidência da simbiose em culturas de cobertura, em plantas espontâneas e na cebola.

Avaliar a disponibilidade no solo e a absorção de fósforo pelas plantas ao longo do ciclo dos diferentes cultivos de plantas de cobertura e da cebola.

Avaliar a disponibilidade de fósforo no solo durante e após o uso de plantas micorrízicas e não micorrízicas, por meio da determinação da atividade da fosfatase.

## **4. ESTUDO 1: COMUNIDADES DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM AGROECOSSISTEMAS COM DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO EM ÍTUPORANGA –SC.**

### **4.1. INTRODUÇÃO**

A produção de cebola destaca-se nacionalmente, estando o Brasil entre os 10 maiores produtores mundiais com 1,7 milhões de Mg ano<sup>-1</sup> (THE DAILY RECORDS, 2019). Parte dessa produção é concentrada em Santa Catarina (SC), com produtividade média de 29 Mg ha<sup>-1</sup> e 532 mil toneladas de produção total na safra 2019/2020 (EPAGRI, 2020). O manejo do solo nas regiões de maior produção é com preparo convencional (SPC), que faz uso de aração e gradagem, ou seja, intenso revolvimento que aumenta a degradação química, física e biológica do solo (DE MASTRO et al., 2019; BERTOL et al., 2000; SIMS, G.K., 1990), deixando o ambiente favorável ao aparecimento de plantas espontâneas (SOUZA et al, 2018), aumentando as perdas de água e solo por erosão e consequentemente perda de nutrientes e de atividade biológica.

Como alternativa, há o avanço no sul do Brasil de uma proposta metodológica como estratégia para transição agroecológica, o Sistema Plantio direto de Hortaliças (SPDH). Esse sistema busca, através da tomada de decisão consciente do agricultor ao adotar tal sistema, a redução ou até total eliminação do uso de agrotóxicos, bem como um redesenho da propriedade com o aumento da diversidade vegetal e, consequentemente, microbiológica do solo, o estabelecimento de relações de equilíbrio no sistema produtivo com foco na promoção de saúde de plantas e do solo. Para isso, no manejo do solo é preconizado o não revolvimento ou o revolvimento restrito à linha de plantio, o uso de espécies de cobertura e a aplicação fracionada de fertilizantes, preferencialmente orgânicos. No caso do cultivo da cebola, as espécies de cobertura são semeadas no inverno para proteger fisicamente a superfície do solo e, antes do plantio da cebola as mesmas são acamadas, promovendo a ciclagem de nutrientes, o controle da emergência das plantas espontâneas (BITTENCOURT et al., 2013; SOUZA et al., 2018), melhoria na estrutura do solo, aumento dos teores de carbono orgânico total e nitrogênio total e melhoria nas propriedades químicas do solo, relacionadas à fertilidade, bem como na microbiologia do solo (OLIVEIRA et al., 2016; SANTOS et al., 2018; FERREIRA et al., 2018; COMIN et al., 2018a; BORTOLINI et al., 2021; VENTURA et al., 2021).

As plantas se desenvolvem em íntima associação com os microrganismos que habitam o solo. Com a cebola, a planta forma micorrizas, a associação mutualística que ocorre entre



raízes de plantas vasculares e fungos do solo, com benefícios mútuos. A planta supre o fungo com energia para crescimento e reprodução via fotossintatos, e o fungo associado à raiz amplia a área de absorção de água e nutrientes (MOREIRA & SIQUEIRA 2006).

A comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) varia em tamanho e composição de espécies em diferentes habitats devido às diferenças nos fatores edáficos, climáticos e do hospedeiro que determinam a esporulação e a colonização da raiz em um determinado local (STURMER et al., 2018). Contudo as diferentes práticas podem afetar vários aspectos das comunidades de FMA em agroecossistemas, pelo excesso ou limitação de insumos orgânicos no solo, remoção de biomassa ou mesmo permanência de espécies que não estimulem a propagação dos FMA, diminuindo a colonização das espécies em cultivos sequeantes (BAKHSNANDEH et al., 2017; VENTURA et al., 2021).

O presente estudo busca caracterizar o efeito de diferentes plantas de cobertura do solo, incluindo espécies micorrízicas e não micorrízicas, sobre a ocorrência dos fungos micorrízicos arbusculares no solo.

## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Localização e delineamento experimental

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" S, longitude 49° 36' 9" O, 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 experimento está instalado em um Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2013), que tem, 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. Anteriormente a área possuía histórico de cultivo de cebola em sistema em SPC, por aproximadamente 20 anos. Em 1996 foi aplicado calcário para elevar o pH em água até 6,0 e implantou-se um sistema de cultivo mínimo de cebola com rotação de culturas e plantas de cobertura (*Avena strigosa*, *Mucuna aterrima*, *Pennisetum glaucum*, *Crotalaria juncea*, *Vicia sativa*), que permaneceu de 1996 a 2007. Posteriormente, foi cultivado batata-doce (*Ipomoea batatas*) até 2009. A partir de então, instalou-se o experimento em SPDH com a

cultura da cebola. No momento da instalação do experimento (2009), a vegetação espontânea foi dessecada com glifosato e a partir de então não foram mais utilizadas aplicações de agrotóxicos. O sistema tem sido conduzido em manejo agroecológico, o que significa que se utilizam adubos orgânicos e rochas moídas, e não são utilizados adubos solúveis e produtos fitossanitários sintéticos (agrotóxicos). Os atributos químicos do solo na camada de 0-10 cm de profundidade, antes da instalação do experimento, foram: 23,2 g kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico total, pH em água 6,0, Índice SMP 6,2; P disponível 26,6 mg dm<sup>-3</sup> e K trocável 145,2 mg dm<sup>-3</sup> (estes dois últimos extraídos por solução de Mehlich-1); Al trocável 0,0 cmolc kg<sup>-1</sup>, Ca trocável 7,2 cmolc kg<sup>-1</sup> e Mg 34 trocável 3,4 cmolc kg<sup>-1</sup> (extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) (TEDESCO et al., 1995).

Os tratamentos constituíram-se de uso de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, sendo: 100% centeio (*Secale cereale* L.) (CE), densidade de semeadura (DS) de 120 kg ha<sup>-1</sup>; 100% nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.) (N), com DS de 20 kg ha<sup>-1</sup>; consórcio de nabo-forageiro (14%) e centeio (86%) (CE+N), com DS de 10 e 60 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As quantidades de sementes por hectare para as plantas de cobertura foram definidas com base na recomendação de Monegat (1991), sendo acrescidos de 50% para garantir uma produção de massa seca adequada para o sistema, em torno de 5 Mg ha<sup>-1</sup>, como definido por trabalhos anteriores na mesma área. A testemunha era a vegetação espontânea (VE) de pousio durante o inverno. O tratamento testemunha apresentava vegetação espontânea diversa, com predomínio das famílias Poaceae (41%), Asteraceae (21%), Polygonaceae (11%), Apiaceae (11%) e Amaranthaceae, Caryophyllaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Oxalidaceae e Solanaceae (16%) conforme a Tabela 1.

Tabela 1 Espécies de plantas espontâneas encontradas em experimento em sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) durante o ciclo da cebola, no ano de 2017. M= planta micorrízica; NM= planta não micorrízica; \* referência não encontrada.

<b>Nome popular</b>	<b>Família</b>	<b>Nome científico</b>	<b>M ou NM</b>	<b>Referência</b>
Língua de vaca	Polygonaceae	<i>Rumex obtusifolius</i>	NM	Brundrett (2017)
Picão branco	Asteraceae	<i>Galinsoga parviflora</i>	M	Stagerová et al. (2009)
Macela	Asteraceae	<i>Gnaphalium spicatum</i>	*	*
Orelha de urso	Lamiaceae	<i>Stachys arvensis</i>	M	Betekhtina & Veselkin (2019)
Oxalis amarela	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i>	M	Shah et al. (2009)
Caruru	Amaranthaceae	<i>Amaranthus lividus</i>	NM	Brundrett (2017)
Erva de passarinho	Cariophyllaceae	<i>Stellaria media</i>	NM	Brundrett (2017)
Aveia	Poaceae	<i>Avena sativa</i>	M	Yang et al. (2010)
Dente de leão	Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	M	Stewart Wade et al. (2002)
Azevem	Poaceae	<i>Lolium multiflorum</i>	*	*
Tiririca	Cyperaceae	<i>Cyperus sp.</i>	NM	Brundrett (2017)
Mastruço	Apiaceae	<i>Apium leptophyllum</i>	*	*
Losna	Compositae	<i>Artemisia verlotorum</i>	M	Shah et al. (2009)
Leiteiro	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i>	M	Nagpure et al. (2019)
Serralha	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	M	Shah et al. (2009)
Maria pretinha	Solanaceae	<i>Solanum sp.</i>	M	Nagpure et al. (2019)
Corda de viola	Convolvulaceae	<i>Ipomea grandifolia</i>	*	
Capim	Poaceae	<i>Spp.</i>	M	Shah et al. (2009)

As espécies de inverno foram semeadas a lanço, em abril de cada ano. Em julho de todos os anos (2009 a 2017) todas as espécies de cobertura de inverno foram acamadas utilizando-se um rolo-faca (modelo RF240, MBO Ltda).

Adicionalmente, foram avaliados mais dois tratamentos, ambos adjacentes ao experimento. O tratamento SPC, que compreende a área original de cultivo de cebola mantida sob sistema de preparo convencional do solo por 20 anos até 1996. Somando-se os anos subsequentes, de 1996 a 2017, época de coleta das amostras de solo, são totalizados 41 anos. No SPC, a partir do ano de 2007, a cebola foi cultivada em sucessão com o milho, no verão. O milho foi acamado na floração com rolo-faca e, após 30-60 dias, com aração seguida de gradagem para implantar a cultura da cebola. A adubação foi realizada conforme a CQFS-RS/SC (2004). O outro tratamento é a Mata, com mesmo tipo de solo, usado como referência, correspondendo a uma floresta secundária, a 550 metros da área experimental, com aproximadamente 35 anos de regeneração, representando um ambiente em equilíbrio e sem estresse de manejo.

No experimento em SPDH, após o acamamento das plantas de cobertura de inverno e da vegetação espontânea, no mês de julho de cada ano, foram aplicados manualmente na superfície do solo 96 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de fosfato natural de Gafsa. Também foram aplicados 175 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 125 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de cama de aviário, sendo metade aplicada no plantio das mudas de cebola e o restante 30 dias após o plantio. Desde a safra de 2011 não foi aplicado fosfato natural, pois os teores (Tabela 2) foram interpretados como muito altos (CQFS-RS/SC, 2004). Em seguida, foram abertos os sulcos de semeadura com uma máquina adaptada para o plantio direto da cebola, sendo transplantadas manualmente as mudas do cultivar Empasc 352 - Bola Precoce. Cada unidade experimental tem 25 m<sup>2</sup> (5,0 × 5,0 m), com espaçamento de 0,40 m entrelinhas e 0,10 m entre plantas, com 10 linhas de cebola por parcela. Foram realizadas capinas aos 60 e 90 dias após o plantio das mudas de cebola. Após a colheita da cebola, em novembro/dezembro de cada ano, foi realizado o plantio da mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) em toda a área cultivada, na DS de 120 kg ha<sup>-1</sup>. A mucuna foi acamada em cada mês de abril e na sequência procedeu-se à semeadura das plantas de cobertura. O arranjo do experimento em SPDH (Tratamentos CE, NF, CE+NF, e VE) foi de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Tabela 2 Atributos químicos do solo, na camada 0-10 cm, em um Cambissolo sob o Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola em Ituporanga –SC na safra 2017.

Tratamento	pHÁgua <sup>ns</sup>	Argila <sup>ns</sup>	Matéria Orgânica <sup>ns</sup>	P <sup>ns</sup>	K <sup>ns</sup>	Ca <sup>ns</sup>	Mg <sup>ns</sup>
		-----%-----	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmolc kg <sup>-1</sup> -----	
Após o acamamento das plantas de cobertura de inverno							
<b>Centeio</b>	5,9	29	4,1	87,3	378	8,9	2,6
<b>Nabo</b>	6,0	30	3,8	79,1	326	9,0	2,6
<b>Centeio+Nabo</b>	5,9	31	4,1	87,5	347	8,1	2,5
<b>Vegt. Espontânea</b>	6,1	30	3,6	87,2	387	8,5	2,5
Após a colheita da cebola							
<b>Centeio</b>	6,0	26	3,7	147	557	7,7	2,6
<b>Nabo</b>	6,1	27	3,7	143	414	7,9	2,6
<b>Centeio+Nabo</b>	6,0	26	3,6	134	537	8,0	2,6
<b>Vegt. Espontânea</b>	6,2	27	3,8	166	555	8,3	2,9

ns= Diferença não significativa entre os tratamentos pelo teste Skott-Knott (p,0.05)

#### 4.2.2. Determinação taxonômica por morfologia de esporos

Para determinação taxonômica dos FMA por caracterização morfológica foi utilizado solo coletado aos 85 dias após a semeadura das plantas de cobertura (amostras de inverno) e 92

dias após o transplante das mudas de cebola (amostras de verão). Amostras de aproximadamente 300 gramas de solo, seguindo a metodologia proposta por TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) a uma profundidade de 0 a 10 cm, próximo às raízes das plantas (HART, et al., 2015), foram transportadas para o laboratório dentro de caixas térmicas e mantidas a 4°C até processamento. Uma porção da amostra composta de solo foi usada para extração direta de esporos (100g), a fim de fazer a identificação taxonômica dos FMA por métodos morfológicos. O restante das amostras (200g) foi utilizado para o estabelecimento das culturas armadilhas.

A extração dos esporos de FMA presentes em uma subamostra de 50cm<sup>3</sup> de solo foi feita por peneiramento úmido, com posterior separação via gradiente de sacarose (GERDEMANN & NICOLSON, 1963). Todos os esporos extraídos foram separados por morfotipos, de acordo com as características forma, tamanho, cor e acessório hifal. Os esporos foram montados em lâminas permanentes com polivinil-lactoglycerol (PVLG) e PVLG com reagente de Melzer (1:1, v/v). As lâminas foram armazenadas a 35 °C, por 3-4 dias para fixação (STÜRMER & SIQUEIRA, 2011).

Para identificação taxonômica das espécies, lâminas de cada morfotipo foram analisadas conforme informações da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG) da Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). Uma vez identificados, os morfotipos foram comparados com aqueles descritos nos protocolos de espécies originais (SCHENCK & PEREZ, 1990) e referências on-line de descrição de espécies do International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM) da West Virginia University, EUA (<https://invam.wvu.edu/>) e do Departamento de Fitopatologia, Universidade de Agricultura em Szczecin, Polônia (<http://www.agro.ar.szczecin.pl>).

#### 4.2.3. *Cultura armadilha para recuperação de espécies.*

O estabelecimento das culturas armadilhas foi realizado conforme a metodologia proposta por Morton et al (1993). As amostras, com *Urochloa decumbens* como planta isca, foram cultivadas em casa de vegetação, em vasos de 1,5 litros contendo entre 150 e 200 g de inóculo nativo misturadas com 1300g de substrato a base de areia e vermiculita (1:1) autoclavado duas vezes (121°C, 60 min). A desinfestação das sementes foi feita com álcool 70% durante 30 segundos e hipoclorito de sódio 2,5% durante 2 min. As sementes foram colocadas na superfície do substrato de cada vaso e cobertas com substrato esterilizado. Durante

a permanência em casa de vegetação foram fornecidas água e solução nutritiva de Hoagland & Arnon (1950). A partir do quinto mês foi cortado o fornecimento de água, a fim de estimular a esporulação, e foram coletadas amostras para obtenção de esporos e posterior identificação morfológica, conforme descrito anteriormente.

#### 4.2.4. Análises Estatísticas

Uma PCoA (Análise de coordenadas principais baseada em distância) foi realizada com o objetivo de verificar a similaridade entre as comunidades de FMA nas áreas com diferentes coberturas do solo, e nas duas épocas do ano, inverno e verão. Essa análise foi baseada na dissimilaridade de Jaccard, com dados de presença / ausência de espécies morfológicas de FMA conforme descrito por Clarke (1993).

Para determinar a diferença na composição da comunidade de FMA nas áreas com diferentes coberturas do solo e nas duas épocas do ano, inverno e verão, foi realizado um teste de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) (Anderson, 2006).

Uma análise multivariada de variância permutacional (PERMANOVA) foi aplicada para comparar as áreas e testar diferenças significativas entre eles, após testar a homogeneidade multivariada dos dados.

### 4.3. RESULTADOS

Durante o ciclo das plantas de cobertura, no inverno, foram encontrados nas áreas estudadas 37 morfotipos distribuídos em 11 gêneros e cinco famílias do filo Glomeromycota (Figura 1). A família com maior número de espécie foi Glomeraceae (19) seguido por Acaulosporaceae (9), Gigasporaceae (5), Claroideoglomeraceae (3) e Paraglomeraceae (1).

Foram encontradas 11 espécies de FMA nos tratamentos com as plantas solteiras de centeio (CE) e de nabo (N), 21 no consórcio centeio + nabo (C+N), e identificaram-se 19 espécies na vegetação espontânea (VE) no sistema de plantio convencional (SPC) e em solo da mata (Mata) (Figura 1). Conforme classificação quanto à frequência de ocorrência, apresentaram-se como dominantes (D) seis espécies: *Acaulospora mellea* no tratamento com VE, *Claroideoglopus etunicatum* (Anexo I) nos tratamentos com C+N ou VE, *Rhizophagus* sp4 em Mata, *Glomus* sp1 em C+N, *Funneliformis mosseae* (Anexo I) nos tratamentos com CE, no consórcio C+N, VE e Mata, enquanto *Funneliformis geosporum* (Anexo I) foi dominante em todas as áreas avaliadas. (Figura 1).

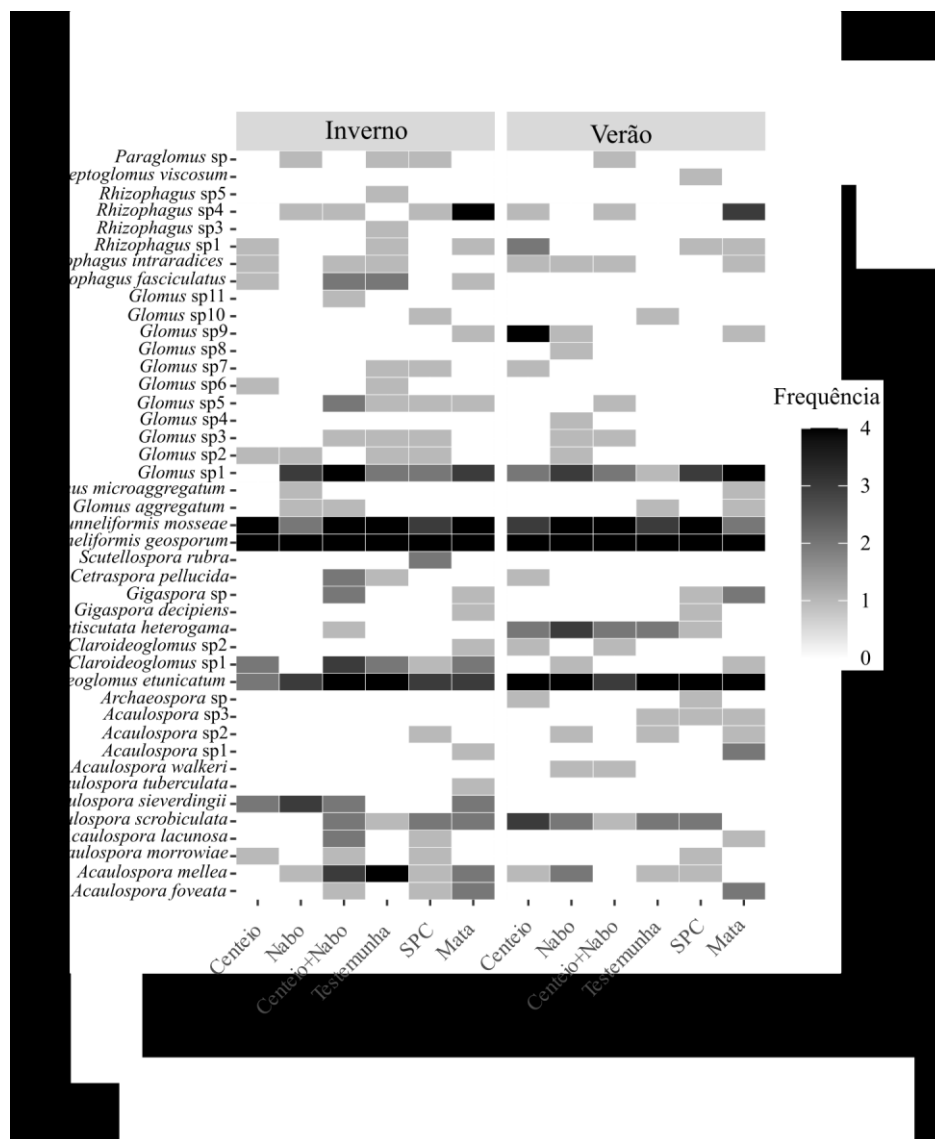


Figura 1 Frequência relativa das espécies de fungos micorrízicos arbusculares, durante o ciclo das plantas de cobertura (inverno) e durante o ciclo da cebola (verão), em áreas com diferentes coberturas do solo em Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola.

Das duas famílias com maior número de espécies encontradas, Glomeraceae apresentou 13, 10, 9, 8, 7 e 7 espécies em VE, C+N, SPC, Mata, CE e N, respectivamente. A família Acaulosporaceae apresentou seis espécies nos tratamentos C+N, SPC e na Mata, e duas espécies em CE, N e VE (Figura 2a).

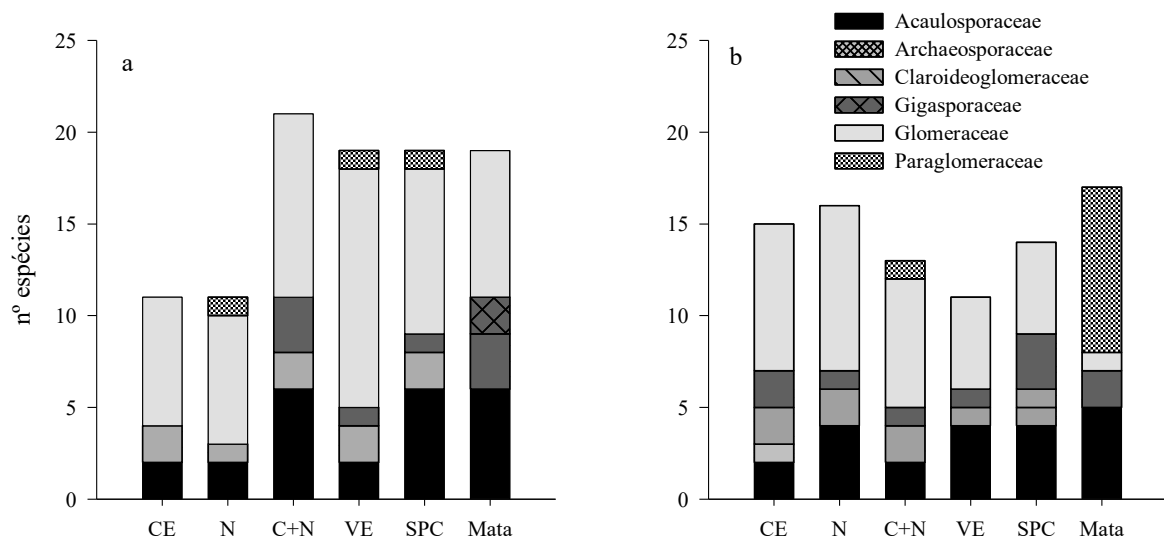


Figure 2 Número de espécies de FMA por família durante o cultivo de plantas de cobertura no inverno (a) e durante o ciclo da cebola no verão (b) em solo com cobertura de centeio (CE), nabo (N), centeio + nabo (C+N), vegetação espontânea (VE) em Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola, e em solo revolvido (SPC).

Durante o ciclo da cebola, no verão, foram encontrados 35 morfotipos distribuídos em 12 gêneros e seis famílias do filo Glomeromycota. A família com maior número de espécie foi Glomeraceae (17) seguida por Acaulosporaceae (9), Gigasporaceae (4), Claroideoglomeraceae (3), Archaeosporaceae (1) e Paraglomeraceae (1) (Figura 1). Foram encontradas 15 espécies de FMA em CE, 16 no tratamento N, 13 no tratamento C+N, 11 na VE, 14 no SPC e 17 espécies no solo da Mata. Conforme classificação quanto à frequência de ocorrência, foram dominantes (D) seis espécies: *Glomus sp9* (Anexo I) encontrada no tratamento CE, *Glomus sp1* (Anexo I) em Mata, *Funneliformis mosseae* nos tratamentos N, C+N e SPC, *Claroideoglomerus etunicatum* encontrada em todos os tratamentos com exceção de C+N e *Funneliformis geosporum*, que foi como dominante em todas as áreas (Figura 1). Das duas famílias com maior número de espécies encontradas, Glomeraceae apresentou nove espécies no tratamento N e Mata, oito no tratamento C, sete em C+N, e cinco espécies em SPC e VE. A família Acaulosporaceae apresentou cinco espécies na Mata, quatro espécies nos tratamentos N, VE, SPC e duas espécies nos tratamentos CE e C+N (Figura 2b).



As espécies *A. sieverdingii*, *A. tuberculata*, *S. rubra*, *G. sp6*, *G. sp11*, *R. fasciculatus*, *R. sp3* e *R. sp5* foram encontradas exclusivamente durante o inverno, ou seja, durante o ciclo das plantas de cobertura. As espécies encontradas exclusivamente no verão, ou seja, durante o ciclo da cebola, foram *A. walkeri*, *A. sp3*, *Archaeospora sp*, *G. sp4*; *G. sp8* e *Septoglo mus viscosum*.

Os dados de presença/ausência de morfotipos apresentaram homogeneidade de dispersões multivariadas (PERMDISP -  $F_{11,36} = 0,36$ ;  $p = 0,964$ ) atendendo aos pressupostos para a realização da PERMANOVA (Figura 3). Houve efeito dos tratamentos de planta de cobertura (Pseudo  $F_{5,36} = 1,64$ ;  $p = 0,008$ ) e da estação (Pseudo  $F_{1,36} = 4,03$ ;  $p = 0,001$ ) sobre a estrutura da comunidade de FMA. Não houve efeito na interação entre tratamento de planta de cobertura e estação sobre a comunidade de FMA (Pseudo  $F_{5,36} = 1,41$ ;  $p = 0,053$ ). Entre as plantas de cobertura houve diferenças entre a estrutura da comunidade de FMA da Mata e do tratamento CE ( $p = 0,03$ ) e entre a Mata e VE ( $p = 0,03$ ). Os demais tratamentos não diferiram quanto a estrutura das comunidades de FMA.

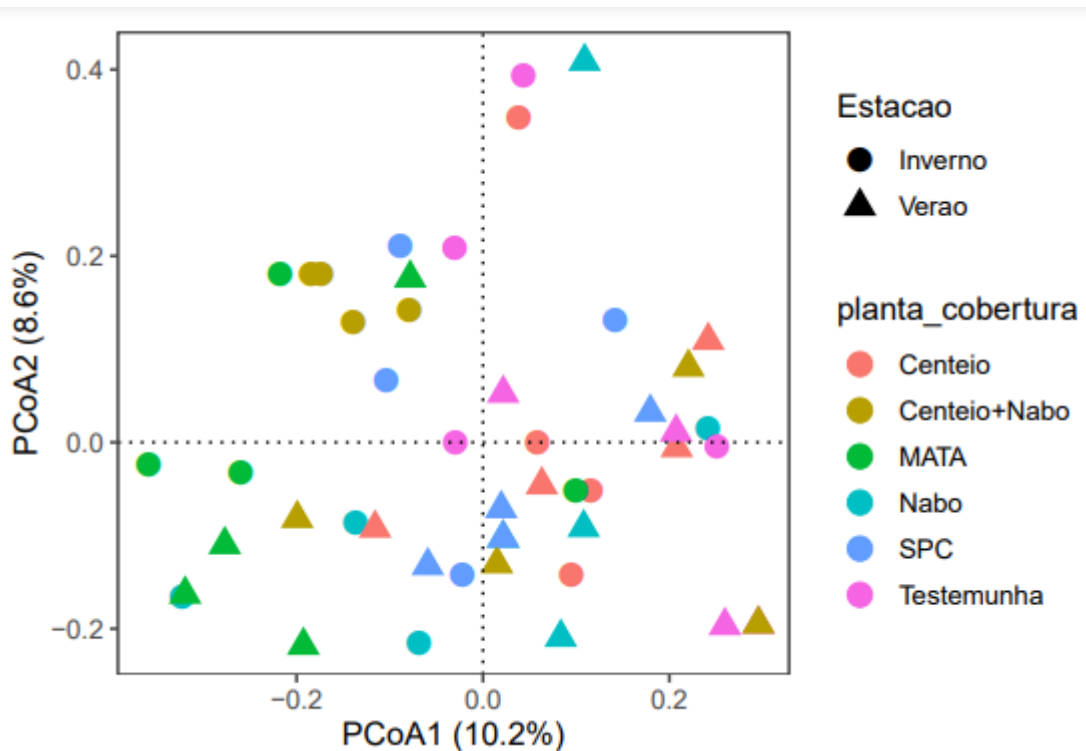


Figura 3 Análise de coordenadas principais (PCoA), baseada na dissimilaridade de Jaccard para verificar a similaridade entre as comunidades de FMA em áreas com diferentes coberturas do solo em Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola, em duas épocas do ano.

Os eixos da dbRDA explicaram 65 % da relação encontrada entre a comunidade de FMA e os atributos químicos do solo avaliados no verão e no inverno (Figura 4). Houve efeito dos atributos atividade da fosfatase (PNF) (Table 8, estudo 2), cálcio, fósforo e matéria orgânica do solo sobre a estrutura da comunidade de FMA. O magnésio não teve efeito significativo.

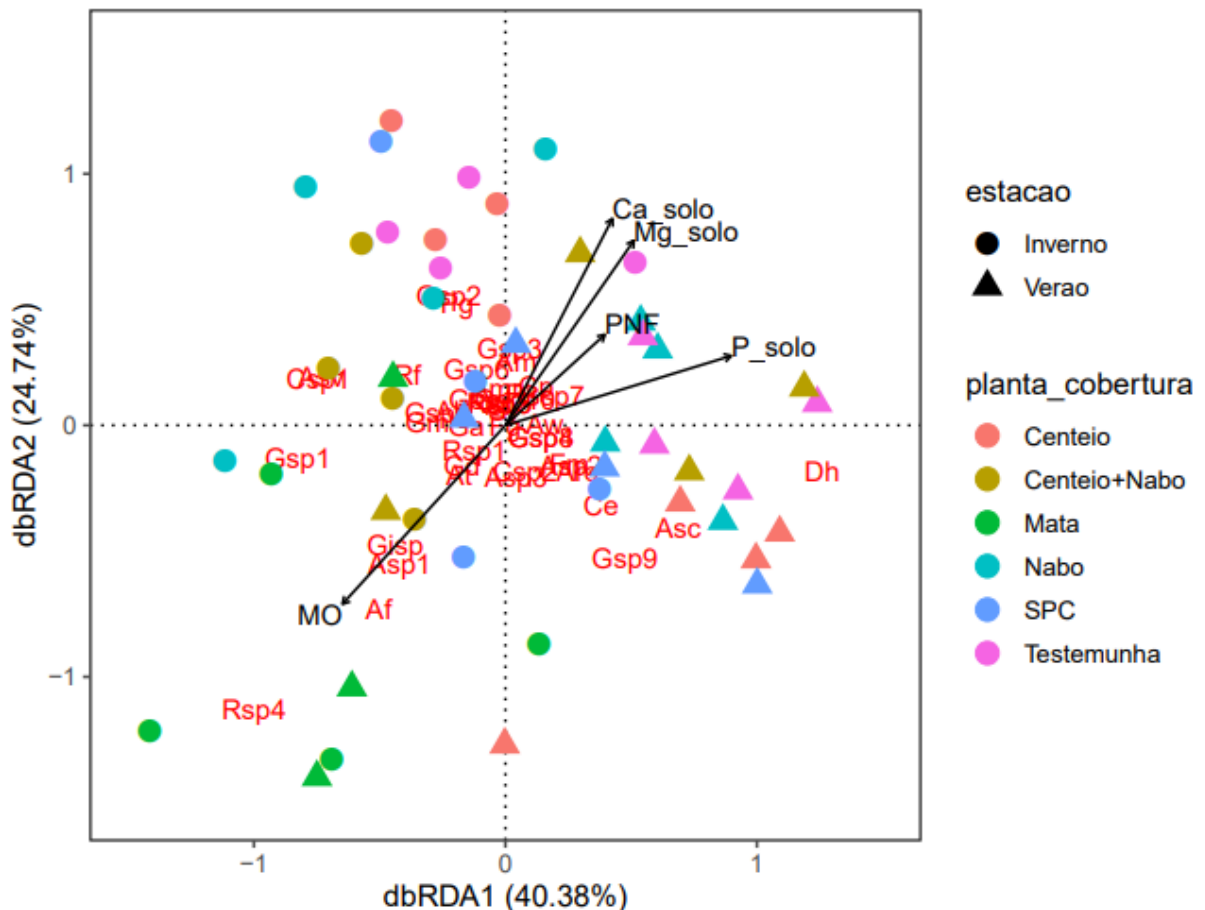


Figura 4 Análise de redundância baseada na distância (dbRDA) entre a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e os atributos químicos do solo (PNF- atividade da fosfatase; P- Fósforo do solo; Ca-Cálcio; Mg-Magnésio; MO-Matéria Orgânica) Sistema de Plantio Direto (SPDH) de cebola em duas estações do ano (inverno e verão). Foi utilizado matriz de dissimilaridade de jaccard para realização da dbRDA.

Com a dbRDA pode-se explicar melhor a análise anterior, pois é possível verificar a separação do tratamento Mata em relação aos demais, com destaque para uma influência nas espécies *Rsp4*, *Af*, *Asp1*, *Gisp* e *Gsp1*, que apresentaram maior frequência no verão, bem como a separação das duas estações do ano, com destaque para as espécies *Ce*, *Asc*, *Dh* e *Gsp9*.

#### 4.4. DISCUSSÃO

A identificação de espécies de FMA com base na morfologia permitiu, em alguns casos, chegar ao nível de espécie. Os dados permitiram constatar que as famílias Glomeraceae e Acaulosporaceae foram as mais encontradas em todas as áreas. A literatura mostra que *Glomus* e *Acaulospora* são abundantes em áreas tropicais (STURMER, et al., 2018; VIEIRA et al., 2018), como constatado aqui em condições subtropicais. A ocorrência de Glomeraceae em todos os sistemas de uso da terra pode resultar, pelo menos em parte, da sua alta tolerância a fatores ambientais, formação de anastomoses e fortes redes miceliais dentro de comunidades de plantas, características dessa família (DE LA PROVIDENCIA et al., 2005). Em relação a *Acaulospora*, o segundo gênero mais abundante em todas as áreas avaliadas, há registros que o colocam como segundo gênero mais representativo em ecossistemas florestais, como no bioma Caatinga (STÜRMER & SIQUEIRA, 2008)

Uma das hipóteses do presente estudo era de que a presença de uma espécie não micorrízica, como o nabo forrageiro, diminuiria a ocorrência de espécies presentes no ambiente, mas isso não ficou evidente, e uma das explicações pode ser que o SPDH seja um sistema mais equilibrado. No sistema de sucessão há o plantio de mucuna e cebola, duas plantas micorrízicas, que podem manter as espécies de FMA presentes no sistema. A influência maior sobre a ocorrência de espécies de FMA parece ter sido a diversidade de plantas, mais do que a capacidade de micotrofia das mesmas.

Durante o inverno o cultivo de uma espécie de planta de forma solteira proporcionou uma diminuição do número de espécies de FMA encontrados, tanto com nabo-forrageiro, planta não micorrízica, como com centeio, planta micorrízica. A produção menor de esporos distintos pode ser decorrente da menor diversidade de plantas. Cloutier, et al., (2020) avaliaram as mudanças nas principais OTUs da comunidade de FMA em solo após três anos de transição do manejo convencional para o manejo orgânico, e observaram que nos cultivos solteiros de nabo e de centeio as composições de comunidade eram menos diversas que nos consórcios com centeio e ervilha ou trevo, que tinham comunidades de FMA mais diversificadas.

A Mata diferiu dos tratamentos com centeio ou com vegetação espontânea. Das espécies encontradas na Mata, e que não foram encontradas quando cultivado centeio solteiro, seis são da família *Acaulosporaceae*, três, de *Glomeraceae* e duas, de *Gigasporaceae*. Das espécies encontradas na Mata, e que não foram encontradas quando se deixou a vegetação espontânea

da área se estabelecer, cinco pertence à família Acaulosporaceae, três a Glomeraceae, duas a Gigasporaceae e uma a Claroideoglomeraceae.

A espécie *Archaeospora sp.*, da família *Archaeosporaceae*, foi encontrada apenas nos tratamentos com canteiro solteiro e na área de cultivo convencional, que tem histórico com uso de gramínea como adubo verde de verão. Não é possível fazer uma ligação direta entre a família de FMA e a família Poaceae em questão, mas existem resultados de pesquisas que utilizaram gramíneas e encontraram *Archaeospora* como espécie mais frequente e mais abundante (CHANNABASAVA & LAKSHMAN, 2015).

Algumas espécies foram dominantes na área estudada, o que pode indicar um certo caráter generalista delas. Por exemplo, *Claroideoglonus* foi encontrada como dominante em todos os tratamentos, assim como em outros estudos. Em trabalho sobre diversidade microbiana do solo e colonização nas raízes de cebola após o cultivo de plantas de cobertura micorrízicas e não micorrízicas, Pakarinen et al., (2021) também não constataram influência da espécie não micorrízica sobre a diversidade de esporos, mas encontraram 23 espécies diferentes nas raízes de cebola, a maioria dos gêneros *Glomus* e *Clareideoglonus*. A presença de *Clareideoglonus* como espécie generalista foi demonstrada por Chiomento et al 2019, que avaliaram a estrutura das comunidades de FMA em áreas de cultivo de morangueiro nas regiões subtropicais brasileiras e compararam com solo de mata nativa.

A PERMANOVA e análise gráfica dbRDA, que relacionaram as espécies encontradas com atributos químicos do solo, demonstraram que as comunidades de FMA foram afetadas pela cobertura do solo e condições climáticas. Isso corrobora estudos de Chaudhary et al., (2008), que sugerem um modelo de distribuição geográfica de espécies de FMA e destacam o clima como fator abiótico e a comunidade vegetal como fator biótico externos de influência. A comunidade de plantas também afetou a distribuição de espécies de FMA em outros estudos. Eom et al. (2000) avaliaram os efeitos de cinco espécies de plantas (*Poa pratensis*, *Sporobolus heterolepis*, *Panicum virgatum*, *Baptisia bracteata* e *Solidago missouriensis*) sobre a comunidade de FMA em pradarias. A abundância de esporos e a composição de espécies de comunidades de fungos de amostras de solo foram influenciadas pelas espécies de plantas hospedeiras que dominaram o local. Além disso, um estudo em casa de vegetação com solo de pradaria mostrou que a composição das espécies de FMA foi significativamente diferente sob cada espécie hospedeira.

Apesar de bem consolidada, a avaliação morfológica dos FMA para estudar as comunidades desses fungos em ecossistemas ou em áreas com influência antrópica, tem limitações. Assim, estudos com técnicas moleculares complementam as informações, principalmente relacionada a taxonomia. Os estudos baseados em sequências do gene podem, por exemplo, mostrar que um fungo formador de esporos com uma determinada característica morfológica, não pertence filogeneticamente a nenhuma das famílias de FMA definidas no passado (Sawaki et al 1998; Walker et al 2007). Além da taxonomia, estudos moleculares podem contribuir com resultados sobre as comunidades e a presença de espécies de FMA que possam interferir positivamente ou negativamente na colonização dos cultivos de interesse econômico, na solubilização e absorção de nutriente etc. Para esse estudo, isso não é diferente; resultados talvez mais conclusivos sobre a influência do uso de plantas de cobertura não micorrízicas no manejo e as diferenças das comunidades de FMA, poderiam ter sido encontrados com técnicas moleculares que complementassem as informações da composição da comunidade já relatadas.

#### **4.5. CONCLUSÕES**

Dentre as espécies de FMA mais encontradas destacam-se as das famílias Glomeraceae e Acaulosporaceae, e diferentes condições climáticas e atributos do solo tiveram efeito na comunidade micorrízica.

A hipótese de que a presença de planta não micorrízica, no caso o nabo forrageiro, diminuiria a ocorrência das espécies de FMA não se confirmou neste estudo, apesar do efeito das diferentes coberturas do solo sobre a comunidade de FMA.

O uso de plantas de cobertura em sistema de sucessão mantém a comunidade micorrízica natural em termos de ocorrência.

## **5. ESTUDO 2: DISPONIBILIDADE E ABSORÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO POR PLANTAS MICORRÍZICAS E NÃO MICORRÍZICAS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO DE CEBOLA.**

### **SOIL PHOSPHORUS AVAILABILITY AND UPTAKE BY MYCORRHIZAL AND NON-MYCORRHIZAL PLANTS IN AN ONION NO-TILLAGE SYSTEM**

#### **Resumo**

A cebola é cultivada predominantemente sob sistema de preparo convencional, e como alternativa o sistema de plantio direto de hortaliças utiliza culturas de cobertura para formar uma camada de biomassa, o que melhora os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Com o objetivo de entender a interação de culturas de cobertura micorrízicas e não-micorrízicas, atividade da fosfatase ácida e disponibilidade e absorção de fósforo do solo pelas plantas, foi realizado um experimento em sistema de plantio direto de hortaliças com a cultura da cebola em Ituporanga, sul do Brasil. Os tratamentos foram: aveia preta (*Avena strigosa*); centeio (*Secale cereale*); nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); centeio + nabo forrageiro; aveia preta + nabo forrageiro e um controle com vegetação espontânea. Além disso, duas outras parcelas, uma área em sistema de preparo convencional e uma floresta, ambas adjacentes ao experimento, foram avaliadas. Mediram-se a biomassa da cultura de cobertura, o rendimento de cebola, a atividade de fosfatase ácida e o fósforo extraído por resina no solo, bem como o conteúdo de fósforo da parte aérea e da raiz e a colonização das raízes em plantas de cobertura, plantas espontâneas e cebolas. Os tratamentos com plantas de cobertura tiveram a maior biomassa vegetal durante o inverno e os maiores rendimentos de cebola. A atividade de fosfatase ácida e fósforo disponível no solo foram maiores nas parcelas de plantio direto do que na área convencional. A presença de nabo forrageiro, uma planta não micorrízica, foi associada a reduções na colonização de raízes de centeio e cebola por fungos micorrízicos arbusculares. As áreas de plantio direto com plantas de cobertura ou plantas espontâneas no inverno acumularam mais fósforo do que as áreas com preparo convencional. O sistema convencional de lavoura mostrou efeitos adversos para a maioria dos atributos do solo, como mostra a Análise de Componentes Principais.

**Palavras-chave:**

*Allium cepa*; fosfatase ácida; fósforo extraído por resina; preparo convencional do solo; plantas de cobertura

**5.1. INTRODUCTION**

Onions are among the most commonly grown vegetables worldwide. Crop management predominantly uses conventional tillage systems, with intensive use of pesticides and highly soluble fertilizers (FERREIRA et al., 2018). Successive plowing, harrowing, or scarification lead to soil, water, and nutrient losses due to erosion (PANACHUKI et al., 2011; SANTOS et al., 2017; FERREIRA et al., 2018). Consequently, soils in the producing regions, such as the Upper Itajaí Valley in southern Brazil, are heavily degraded (COMIN et al., 2018a).

As an alternative to the conventional tillage system, our team has been developing a vegetable no-tillage system for different plant species (FAYAD et al., 2019). It follows ecology-based principles, such as reduced soil tillage, split fertilizer application, and avoidance of highly soluble fertilizers. The system relies on the use of cover crops, aiming to eliminate herbicides for the management of spontaneous plants (FAYAD et al., 2019; MÜLLER JÚNIOR et al., 2019). The vegetable no-tillage system uses cover crops to form a layer of plant residues on the soil surface and minimize tillage. Cover crops can uptake minerals from deeper soil layers, accumulate them in their roots and shoots, thus improving nutrient supply and cycling (OLIVEIRA et al., 2017). After residue decomposition, nutrients in the plant tissues are released and can be uptaken by cash crops (WHITE & WEIL, 2011). In addition to changes in nutrient concentration in the upper layers, cover crops promote changes in soil structure (SANTOS et al., 2018), reduction of erosion processes (COMIN et al., 2018a), as well as increased soil biological activity and organic matter concentration (DE PONTES et al., 2017). Increased plant diversity should result in higher soil microbiological activity, but studies evaluating soil quality with microbiological indicators are still scarce (MENDES et al., 2019). The selection of biological indicators is vital for the development and scaling up of the vegetable no-tillage system since they help to understand the underlying biochemical and ecological interactions. Biological indicators can also be used by technicians and farmers to monitor soil quality.

Management practices used in conventional tillage system and vegetable no-tillage system affect soil microbial communities, such as arbuscular mycorrhizal fungi, which have

their diversity affected by soil tillage (CARNEIRO et al., 2019). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with plant roots provide an increased area for nutrient uptake, especially phosphorus, through their network of hyphae (SMITH & READ, 2008). Mycorrhizal colonization is affected by soil available phosphorus content, but previous studies on the same area did not show differences in Mehlich 1-extracted soil phosphorus (SOUZA et al., 2013, SANTOS et al., 2017), showing the need to use other extractor, such as resin. Besides, arbuscular mycorrhizal fungi promote soil aggregation, due to the action of their external mycelia and the production of glomalin, a cementing agent (RILLIG & MUMMEY, 2006). Mycorrhizas have also been linked to increased phosphatases activity in the soil (TAWARAYA et al., 2006).

Enzymes are good indicators of soil quality since they catalyze different reactions in soils (MENDES et al., 2019), involving processes such as organic waste decomposition and nutrient mineralization (BOWLES et al., 2014). Soil enzyme activity is affected by the microbiota, plant cover, and plant and soil management. Arbuscular mycorrhizal fungi can produce enzymes, especially phosphatases, which promote phosphorus mineralization and may act in the solubilization for inorganic phosphate (TARAFDAR, 1995; QIU et al., 2018). Non-mycorrhizal plants have developed strategies to obtain organic phosphorus, which include increased phosphatase activity around their roots (DALLA COSTA & LOVATO, 2004; KUNZE et al., 2011). However, there is limited information on the relationship between enzyme activity, especially phosphatases, and the presence of mycorrhizal and non-mycorrhizal plants on the tillage system. Our main hypothesis is that plant species, along with soil phosphorus availability, can differentially affect phosphatase activity in soils.

This study aims to evaluate the effect of mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops on soil phosphatase activity and phosphorus availability and uptake in a no-tillage onion production system.

## **5.2. MATERIALS AND METHODS**

### *5.2.1. Location and experimental design*

The study was carried out in Ituporanga (Santa Catarina State, Brazil) (27° 24 '52 "S, 49° 36' 9 "W, 475 m altitude). The region climate, according to the Köeppen classification, is subtropical humid (Cfa), with a mean temperature of 17.6 °C and 1400 mm yearly rainfall. The soil in the area is classified as Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2013), equivalent to Humic Distrudept (SOIL SURVEY STAFF, 2010). The area had a history of twenty years of onion



cultivation in conventional tillage system (plowing, harrowing, and scarification) until 1996 when a minimum tillage system with onion and cover crop rotation was adopted. The rotation included oats (*Avena strigosa* Schreb), velvet bean (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy), millet (*Pennisetum glaucum* L.), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), and vetch (*Vicia sativa* L.). In 2007, sweet potato (*Ipomoea patatas* (L.) Lam.) was planted and grown until 2009, when the vegetable no-tillage system experiment with onion was established. Spontaneous plants were desiccated with glyphosate, and afterward, no pesticide was used in the area. In the 0-10 cm layer, the soil had 380 g kg<sup>-1</sup> clay, 40 g kg<sup>-1</sup> total organic carbon, 6.2 pH in water, 26.6 mg dm<sup>-3</sup> available phosphorus, and 145.2 mg dm<sup>-3</sup> exchangeable potassium (the latter two extracted by Mehlich-1 solution), 0.0 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> exchangeable aluminum, 7.2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> exchangeable calcium, and 3.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> exchangeable magnesium (extracted by 1 mol L<sup>-1</sup> KCl) (TEDESCO et al., 1995).

The treatments were: 100% black oats (*Avena strigosa* Schreb), with sowing mass of 120 kg ha<sup>-1</sup>; 100% rye (*Secale cereale* L.), with sowing mass of 120 kg ha<sup>-1</sup>; 100% oilseed radish (*Raphanus sativus* L.), with 20 kg ha<sup>-1</sup>; intercropping of rye (86%) and oilseed radish (14%), with 60 and 10 kg ha<sup>-1</sup>, respectively; intercropping of black oats (86%) and oilseed radish (14%), with 60 and 10 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The sixth treatment was a fallow control with spontaneous plants, with the predominance of *Amaranthus lividus* L., *Oxalis* spp., *Cyperus* spp., *Stachys arvensis* L. *Cynodon* spp., and *Rumex obtusifolius* L. (SOUZA et al., 2018). Seed densities for cover crops were defined based on the recommendation of MONEGAT (1991) and increased by 50%, aiming a suitable dry mass production for the system, around 5.0 Mg ha<sup>-1</sup>. The cover crops are winter species and were sown in early Autumn (April) each year.

In July of every year (2009 to 2017), all winter cover crops were rolled down with a knife roller (model RF240, MBO Ltda., Erechim, Brazil). We used fertilizer doses and application procedures usually adopted by onion farmers in the region: Gafsa natural phosphate at a rate of 96 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, and poultry litter, corresponding to 175 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 125 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O and 160 kg ha<sup>-1</sup> of N. One half of the poultry litter was applied at onion seedling planting, and the remainder was applied 45 days later. In 2011, no natural phosphate was applied, as soil analysis showed that levels were very high (CQFS-RS / SC, 2004). Furrows were dug with a sowing planter adapted for direct onion planting, and onion seedlings (cultivar Empasc 352 - Bola Precoce) were manually transplanted. Each experimental unit had 25 m<sup>2</sup> (5.0 × 5.0 m), with 0.40 m between rows and 0.10 m between plants, with ten onion rows per

plot. Weeding was done by hoeing, 60 and 90 days after the onion seedlings were transplanted. After the onion harvest, in November or December of each year, velvet bean (*Mucuna aterrima* Piper & Tracy) was sown (120 kg ha<sup>-1</sup>) on the cultivated area. The velvet bean plants were rolled down each April, before sowing the cover crops. The experiment was arranged in a randomized block design with eight replicates. The soil apparent density in the area ranges between 1.28 and 1.32 Mg m<sup>-3</sup> (LOSS et al., 2017).

Additionally, two more plots were evaluated, both adjacent to the experiment. The conventional tillage system plot is a 41-year-old onion field. Onions were grown under conventional tillage system for 31 years from 1976 until 2007. Since 2007, onion has been grown in rotation with millet in the summer. Millet was rolled down at flowering with a knife roller, and after 30-60 days, the area was plowed and harrowed to establish the onion crop. The soil (0-10 cm layer) had 420 g kg<sup>-1</sup> clay, 5.8 pH in water, 17.1 mg dm<sup>-3</sup> available phosphorus, and 80.0 mg dm<sup>-3</sup> exchangeable potassium (the latter two extracted by Mehlich-1 solution), 0.0 mmolc kg<sup>-1</sup> exchangeable aluminum, 7.3 cmolc kg<sup>-1</sup> exchangeable calcium, and 3.0 cmolc kg<sup>-1</sup> exchangeable magnesium (extracted by 1 mol L<sup>-1</sup> KCl). Soil apparent density is 1.40 Mg m<sup>-3</sup> (LOSS et al., 2017). Fertilizer was applied according to regional recommendations (CQFS-RS / SC, 2004). Also, soil samples were taken in a secondary forest used as a reference to represent an environment without management stress. That area, at a 550-meter distance from the experimental area, has 35 years of regeneration, and soil apparent density is 0.98 Mg m<sup>-3</sup> (LOSS et al., 2017).

### 5.2.2. *Sampling and measurements for area characterization*

The Ituporanga EPAGRI weather station, maintained by the Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM), provided the information on weather conditions (temperature and rainfall daily value) in the period during which the experiment was carried out.

In June and July 2017, at 58, 80, and 99 days after sowing of winter cover crops, three subsamples were collected from each plot, using a 0.5m x 0.5m frame. The plants were cut, stored in paper bags, oven-dried at 65 °C until constant mass, and weighed.

In November, onion bulbs were harvested manually in six central lines of each plot. left on the soil surface for ten days, sorted by size class (HORTIBRASIL, 2010), and weighed.

### 5.2.3. *Soil phosphatase activity and phosphorus availability*

Acid phosphatase activity and resin-extracted phosphorus were measured in soil samples from all treatments during the cover crop cycle at 58, 80 and 99 days after sowing, and at 40 and 99 days after seedling planting during the onion cycle. In each plot of the experiment and adjacent areas, approximately 300 grams of soil were collected at a depth of 0 to 10 cm. The samples were transported to the laboratory with ice and kept at 4 °C until the analyses were performed within two months after collecting.

For acid phosphatase activity analysis, 1.0 gram of soil was mixed with p-nitrophenyl phosphate (PNP) in a modified universal buffer (MUB pH 6.5), incubated at 37 °C, and hydrolysis was stopped after one hour with 0.5 mol L<sup>-1</sup> calcium chloride. (CaCl<sub>2</sub>) and 0.5 mol L<sup>-1</sup> NaOH. Absorbance (410nm) of the centrifuged and filtered extract was measured in a UV-visible spectrophotometer. Controls were performed using the same procedures with the enzyme substrate (p-nitrophenyl phosphate) added at the end of the incubation period. The standard curve was obtained with p-nitrophenol in CaCl<sub>2</sub> and NaOH (TABATABAI, 1994).

Soil resin-extracted phosphorus was measured using Anion Exchange Resins (RAIJ et al., 1987) after stirring for 16 hours. Subsequently, the resins were removed from the solution, and the phosphate ions were extracted with a 0.5 mol L<sup>-1</sup> HCL solution. Phosphorus was quantified by UV-vis spectrometry (MURPHY & RILEY, 1962).

### 5.2.4. *Mycorrhizal root colonization, and shoot phosphorus concentration and uptake*

Root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi was measured in rye, oilseed radish, rye + oilseed radish, and spontaneous plants treatments at 80 days after sowing during the winter cover crop cycle, and at 40 and 99 days after seedling planting during the onion cycle. We decided to evaluate only rye because the behavior of grasses is similar, and previous studies in the same experiment showed that rye had better results in soil quality improvement (OLIVEIRA et al. 2016). In the first sampling, three rye and three oilseed radish plants were collected from the single-crop plots and the intercropped rye and oilseed radish plots. In each spontaneous plants plot, three *Rumex obtusifolius* plants and three *Amaranthus lividus* plants were collected because those species were present in all treatments. *R. obtusifolius* has a dominance index of 20 to 33% during winter and onion cycles, respectively, and *A. lividus* indexes are 17 to 61% in the same cycles (COMIN et al., 2018b). In the other two sampling times, during the onion

cycle, three onion plants were collected in each plot. Onion plants were also collected in the adjacent area with conventional tillage system.

Shoots of three plants of each treatment were oven-dried at 65 °C until constant mass, weighted, and ground to determine phosphorus concentration and total uptake. Plant material was subjected to digestion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (TEDESCO et al., 1995), and phosphorus was determined by spectrometry (MURPHY & RILEY. 1962).

Roots were transported in ice coolers and stored at 4 °C for further analysis. Root samples were cleared with KOH and stained with trypan blue (KOSKE & GEMMA, 1989), and colonization was measured according to MCGONIGLE et al. (1990). Stained root fragments of 1.0 cm were mounted on slides with polyvinyl lactoglycerol and examined under a microscope at 200x magnification, and 100 intersections were examined, counting the presence of hyphae, arbuscles, and vesicles.

#### 5.2.5. *Statistical analysis*

Data on biomass, yield, mycorrhizal colonization, and phosphorus availability in soil and plants were tested for homogeneity (Bartlett) and normality (Shapiro-Wilk). Mycorrhizal colonization data (hyphae only, arbuscles, vesicles, and total colonization) were transformed using  $(x + 1)^{0.5}$ . Data were subjected to analysis of variance, and when there were significant effects, means were separated by the Skott Knott test at 5% probability.

Analyses of regression were performed, followed by analyses of variance at 5% probability. A principal component analysis was performed using the vegan package (OKSANEN et al., 2013). The software R v. 3.6 (R Development Core Team, 2008) for statistical analysis and the Sigma Plot 12.3 (Systat Corp.) software for graphs were used.

### 5.3. RESULTS

#### 5.3.1. *Winter cover crop biomass and onion yield*

Winter cover crop produced more above-ground biomass than spontaneous plants, in all sampling times (Table 3). At 58 and 99 days after sowing, shoot biomass of intercropped or single-species winter cover crops was three times higher than plant biomass in plots with spontaneous plants. In the adjacent area under conventional tillage system, millet biomass production in summer was double the biomass of winter cover crops.

Table 3 - Winter cover crops biomass in three sampling times, and onion bulb yield in a no-tillage system with black oats (BO), rye (RY), oilseed radish (OR), as single or combined cover

crops or with spontaneous plants (SP), with an adjacent conventional tillage system (CTS) having millet as summer cover crop taken as reference. DAS = days after sowing.

Treatments	Cover crop biomass			Onions bulb yield
	58 DAS	80 DAS	99 DAS	
	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
	-----			
Black oats (BO)	1.5 a*	3.1 a	4.5 a	13.9 a
Rye (RY)	1.4 a	3.2 a	4.3 a	10.3 b
Oilseed radish (OR)	1.5 a	3.8 a	4.1 a	10.2 b
RY + OR	1.7 a	3.4 a	4.6 a	10.2 b
BO + OR	1.6 a	3.8 a	4.5 a	12.6 a
Spontaneous Plants	0.4 b	1.7 b	1.5 b	6.9 c
CTS			9.0	25.0

\*Means followed by the same lowercase letter in each column do not differ according to Scott-Knott test ( $P \leq 0.05$ ).

The total yield of onion bulbs ranged from 6.9 Mg ha<sup>-1</sup> for spontaneous plants to 13.9 Mg ha<sup>-1</sup> for black oats (Table 3). The treatments previously sown with black oats and black oats + oilseed radish had higher onion yields than the other treatments. In general, onion yields in treatments with cover crops were 32 to 50% higher than in the plots with spontaneous plants (Table 3), which also had smaller bulbs (Table 4). Bulb yield in conventional tillage system was 1.7 to 3.6 times higher than in vegetable no-tillage system treatments. There was a significant regression coefficient ( $r^2 = 0.83$ ;  $p$ -value  $< 0.001$ ) between cover crop biomass and onion yield.

Table 4 - Yield of onion bulbs, separated by commercial class, in a no-tillage onion production system.

Treatments	Onion bulb production by commercial class				
	Class 1	Class 2	Class 3	Rotten	Total
	Mg ha <sup>-1</sup>				
Black oats (BO)	0.4 b	10.3 a	2.9 a	0.1 <sup>ns</sup>	13.9 a
Rye (RY)	0.4 b	7.1 b	2.1 a	0.1 <sup>ns</sup>	10.3 b
Oilseed radish (OR)	0.4 b	7.0 b	2.4 a	0.1 <sup>ns</sup>	10.2 b
RY + OR	0.4 b	7.8 b	2.1 a	0.2 <sup>ns</sup>	10.2 b
BO + OR	0.5 b	9.2 a	2.7 a	0.3 <sup>ns</sup>	12.6 a
Spontaneous Plants	1.6 a	4.9 c	0.3 b	0.3 <sup>ns</sup>	6.9 c

\*Means followed by the same letter in each column do not differ according to Scott-Knott test ( $P < 0.05$ ). ns = not significant by the F test ( $p < 0.05$ ). Class 1 ( $> 15 \leq 35$  mm), Class 2 ( $> 35 \leq 50$  mm), Class 3 ( $> 50 \leq 60$  mm)

### 5.3.2. Mycorrhizal colonization and shoot phosphorus concentration and uptake

During the winter cover cycle, there was mycorrhizal colonization in the roots of rye (Figure 5), a mycorrhizal plant. No mycorrhizal structures were found in oilseed radish, *R. obtusifolius*, or *A. lividus* roots, as expected since those plant species belong to typically non-mycorrhizal families (BRUNDRETT, 2017). Total root colonization in treatments containing only rye and intercropped rye species were 20% and 12%, respectively, but vesicle and arbuscule indexes did not differ between treatments.

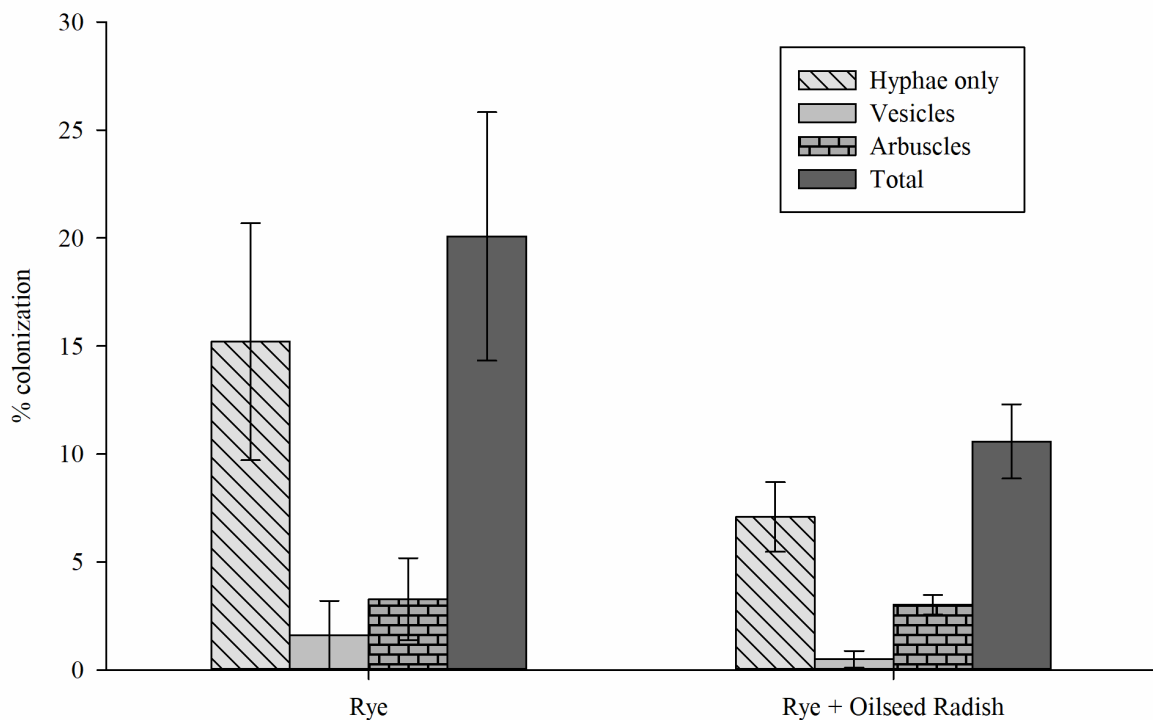


Figure 5 Root mycorrhizal colonization (%), of rye (RY) grown singly or intercropped with oilseed radish (OR), 80 days after sowing. \* Means followed by the same letter do not differ between the RY and RY + OR treatments according to Scott-Knott test at  $P \leq 0.05$ .

Onion roots were colonized by arbuscular mycorrhizal fungi in both sampling times (Table 5). There were differences among treatments only for total colonization in the first sampling, and for vesicles in the second sampling. In the first sampling time, total root colonization in the treatments with oilseed radish was lower than in the treatments with rye only, with spontaneous plants, or under conventional tillage system. In the second sampling, the highest rate of vesicle formation occurred in the spontaneous plant treatment.

Table 5 Mycorrhizal colonization of onion in summer, with onion under conventional tillage system (CTS) taken as references. Hy: hyphae only; Ves: vesicles; Arb: arbuscules. DAS: days after cover crop sowing; DAP: days after onion planting.

Treatments	Hy	Ves	Arb	Total	Hy	Ves	Arb	Total
	----- 40 DAP -----				----- 99 DAP -----			
Rye (RY)	6.3 <sup>ns</sup>	7.3 <sup>ns</sup>	26.8 <sup>ns</sup>	39.3 a	9.5 <sup>ns</sup>	2.0 b	24.0 <sup>ns</sup>	33.8 <sup>ns</sup>
Oilseed radish (OR)	5.0	4.8	22.0	25.8 b	7.8	4.8 b	21.8	25.8
RY + OR	7.0	2.8	23.5	27.8 b	7.0	2.0 b	22.0	29.8
Spontaneous plants	7.3	6.8	34.3	43.3 a	11.0	10.0 a	17.3	30.8
CV %	24.1	43.3	19.6	10.5	16.6	27.7	11.7	7.6
CTS (mean±CI)	7.8±4.0	9.0±5.7	37.3±11.9	46.0±13.2	7.8±5.3	3.3±1.5	20.8±7.3	30.3±5.7

\*Means followed by the same lowercase letter in each column do not differ according to Scott-Knott test at  $P < 0.05$ . ns = not significant; DAP = Days after onion planting; CV = coefficient of variation. CI = confidence interval.

During the cover crop cycle, shoot phosphorus concentration in cover crops and spontaneous plants varied from 4.3 to 5.7 g kg<sup>-1</sup>, at 99 days after sowing (Table 6). Those concentrations are probably linked to the availability of phosphorus from rock phosphate (96 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) and poultry litter (175 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>). Rye and spontaneous plants had the highest shoot phosphorus concentration, while phosphorus uptake was greater in cover crops than in spontaneous plants, mainly due to the difference in biomass production (Table 3). During the onion crop cycle, shoot phosphorus concentration did not differ among treatments, while the highest phosphorus uptake occurred in conventional tillage system plants, and oilseed radish and rye + oilseed radish treatments had the lowest phosphorus uptake rates.

Table 6 – Phosphorus concentration (PC) (g kg<sup>-1</sup>) and total uptake (PU) (kg ha<sup>-1</sup>) in cover crops and spontaneous plants (SP), 99 days after sowing, and in onion plants, 99 days after planting. CTS: Conventional tillage system.

Treatments	Cover crops cycle		Onion cycle	
	PC (g kg <sup>-1</sup> )	PU (kg ha <sup>-1</sup> )	PC (g kg <sup>-1</sup> )	PU (kg ha <sup>-1</sup> )
Rye (RY)	5.7 a*	23.2 a	3.4 <sup>ns</sup>	9.1 a
Oilseed radish (OR)	4.3 b	17.6 a	3.3	6.8 b
RY + OR	4.9 b	22.5 a	3.5	6.3 b
Spontaneous plants	5.4 a	8.1 b	3.1	9.0 a
CV %	nd	nd	18.6	20.0
CTS (mean±CI)	nd	nd	3.5±0.3	15.2±1.8

\*Means followed by the same lowercase letter do not differ from each other in the column according to Scott-Knott test ( $P \leq 0.05$ ), ns = not significant, nd = not determined.

### 5.3.3. Soil acid phosphatase activity and resin-extracted phosphorus

During the cover crop cycle, acid phosphatase activity ranged from 434 to 1031 ug PNP g dry soil<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> in the plots in vegetable no-tillage system and in the adjacent production area under conventional tillage system, while it ranged from 1085 to 2297 ug PNP g dry soil<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> in the forest area, used as a reference (Table 7). There was an increase in enzyme activity throughout the three sampling times in all treatments. Acid phosphatase activity in all samplings times during the winter cover crop cycle was higher in black oats and black oats + oilseed radish treatments than in spontaneous plants. In the treatments with single oilseed radish or rye + oilseed radish, acid phosphatase activity only differed from the spontaneous plants in the last sampling time, at 99 days.

Table 7 Acid phosphatase (AP) activity (ug PNP g dry soil<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) in soil under winter cover crop cycle and during summer onion cultivation, in areas with cover crops and subsequent onion cycle, area with onion under conventional tillage system (CTS) and in a forest taken as reference.

Treatments	AP activity during cover crop cycle			AP activity during onion cycle	
	58 DAS	80 DAS	99 DAS	40 DAP	99 DAP
Black oats (BO)	757 aB*	990 aA	1031 aA	994 a <sup>ns</sup>	1230 a
Rye (RY)	770 aB	928 bA	987 aA	969 a	1187 a
Oilseed radish (OR)	689 bB	884 bA	936 aA	953 a	1213 a
RY + OR	642 bB	905 bA	958 aA	1021 a	1171 a
BO + OR	849 aB	983 aA	987 aA	997 a	1182 a
Spontaneous Plants	719 bB	851 bA	848 bA	926 a	1053 a
CV%	14.0	10.7	15.8	13.0	17.4
CTS (mean±CI)	434±48	690±62	670±76	638 ± 103	680 ±110
Forest (mean±CI)	1085 ±315	2140 ±203	2297±792	1623 ±377	1712±386

\*Means followed by the same letter, lowercase in each column and uppercase in each row, do not differ according to Scott-Knott test (P <0.05). ns = not significant for analysis between collections during onion cycle; DAS = Days after sowing; DAP = Days after seedling planting; CV = coefficient of variation. CI = confidence interval.

During the onion cycle, acid phosphatase activity ranged from 638 to 1230 ug PNP g dry soil<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> in the areas with vegetable no-tillage system and conventional tillage system (Table 7). In both onion cycle samplings, there were no differences among treatments in vegetable no-tillage system, and all values were higher than those found in the area in conventional tillage system. In the forest area, acid phosphatase activity remained higher than in cultivated areas, ranging from 1623 to 1712 ug PNP g dry soil<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.



During the cover crop cycle, resin-extracted soil phosphorus (Table 8) ranged from 9.7 to 147 mg kg<sup>-1</sup> in the vegetable no-tillage system and conventional tillage system areas, and from 11.9 to 14.5 mg kg<sup>-1</sup> in the forest area. In the three sampling times, there were no differences in soil phosphorus among cover crops, except for oilseed radish and rye + oilseed radish treatments at 58 days after sowing, which had higher resin-extracted phosphorus than conventional tillage system and forest. In general, there was a decrease in soil phosphorus throughout the three sampling times in all treatments in the vegetable no-tillage system, except for oilseed radish and spontaneous plants (Table 6). During the onion cycle, resin-extracted phosphorus ranged from 57 to 184 mg kg<sup>-1</sup> in the areas under vegetable no-tillage system and conventional tillage system, and from 14.2 to 15.4 mg kg<sup>-1</sup> in the forest area. In the onion cycle samplings, resin-extracted phosphorus did not differ among vegetable no-tillage system treatments, which had higher values than the conventional tillage system and forest area.

Table 8 Resin-extracted soil phosphorus (mg kg<sup>-1</sup>) in the soil during the winter cover crop cycle and summer onion cultivation, in plots with cover crops and subsequent onion cycle, in areas with onion under conventional tillage system (CTS), and a forest taken as reference.

Treatments	Cover crop cycle			Onion cycle	
	58 DAS	80 DAS	99 DAS	40 DAP	99 DAP
	-----mg kg <sup>-1</sup> -----				
Black oats (BO)	145 aA*	110 aB	104 aB	144 a	162 a
Rye (RY)	147 aA	111 aB	95 aB	145 a	166 a
Oilseed radish (OR)	123 bA	119 aA	116 aA	139 a	155 a
RY + OR	107 bB	127 aA	91 aB	137 a	184 a
BO + OR	141 aA	132 aA	95 aB	178 a	173 a
Spontaneous Plants	135 aA	125 aA	108 aA	174 a	173 a
CV %	17.07	23.8	13.3	18.8	27.5
CTS (mean±CI)	9.7 ± 5.2	51 ± 8.9	53 ± 10.8	57 ± 7.2	64 ± 15.7
Forest (mean±CI)	12.9 ± 1.2	11.9 ± 2.0	14.5 ± 2.1	14.2 ± 2.0	15.4 ± 1.4

\*Means followed by the same letter, lowercase in each column, and uppercase in each row, do not differ according to Scott-Knott test (P < 0.05). DAS = Days after sowing; DAP = Days after seedling planting; CV = coefficient of variation. CI = confidence interval.

#### 5.3.4. Interactions among variables

The correlations between the variables resin-extracted phosphorus and acid phosphatase activity (Figure 6) show two different behaviors. During the winter cover crop cycle (58, 80,

and 99 days after sowing), correlations are moderate and positive, while in the onion cycle (40 and 99 days after seedling planting), correlations are strong and negative.

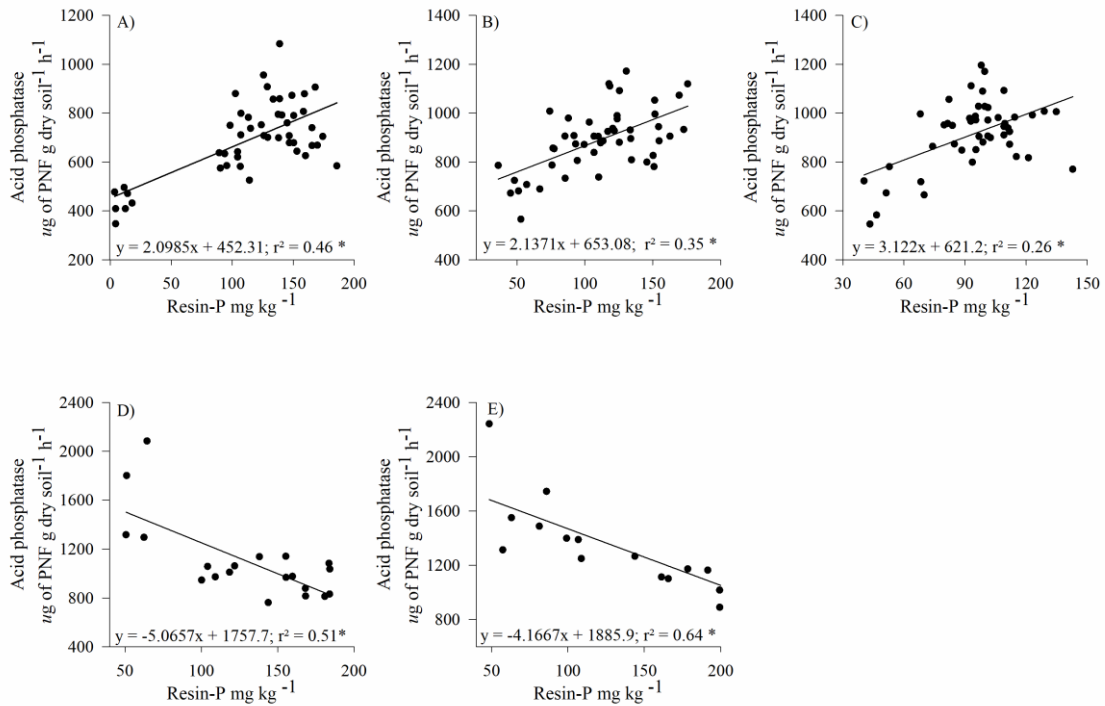


Figure 6 Analysis of regression between resin-extracted soil phosphorus and acid phosphatase activity in areas with winter cover crops or onion. A: 58 days after sowing (DAS) cover crops; B: 80 DAS; C: 99 DAS; D: 40 days after onion seedling planting (DAP); E: 99 DAP. \* Significant at  $P \leq 0.05$ .

The principal component analysis explained 75.4% of the data variance in the two main components. PC1 explained 57.9% of the variance and grouped the highest values of the attributes related to phosphorus availability (phosphorus concentration, acid phosphatase, resin-extracted phosphorus, and phosphorus uptake) with no-till treatments (Figure 7). The conventional production system correlated with the lowest values in soil attributes related to phosphorus availability and cycling. PC2 explained 17.5% of the variance and separated phosphorus availability attributes and onion colonization at 99 days after onion seedling planting.

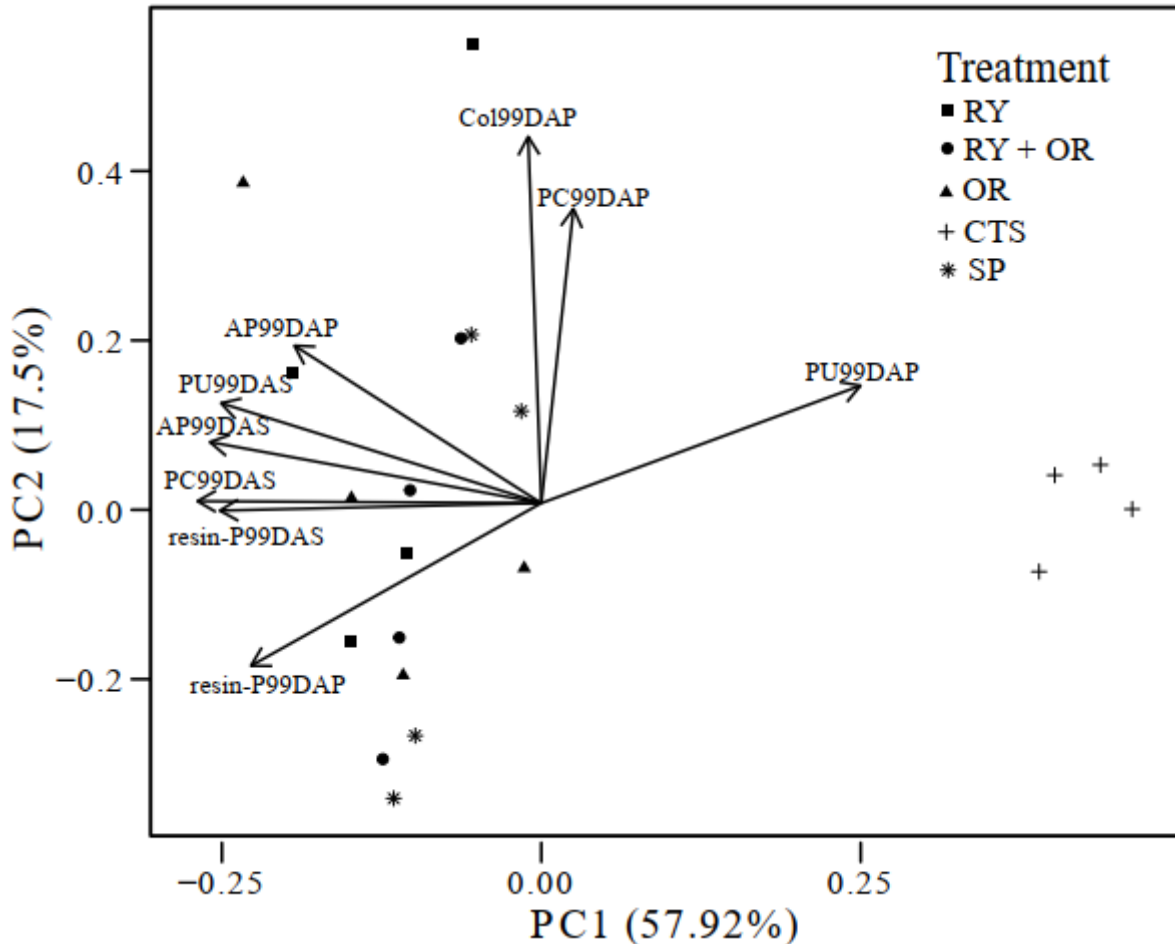


Figure 7 Sorting diagram of principal component analysis of soil and plant attributes. DAS: Days after sowing; DAP: Days after seedling planting; PC: Phosphorus concentration; PU: Phosphorus uptake; AP: Acid phosphatase; resin-P: Resin extracted phosphorus; Col: Onion colonization; RY: rye; OR: oilseed radish; CTS: Conventional tillage system; SP: Spontaneous plants.

## 5.4. DISCUSSION

### 5.4.1. Winter cover crop biomass and onion yield

Lower biomass production in the fallow control area (spontaneous plants) than in areas with cover crops is due to lower biomass production and slower growth by the spontaneous plants (HERTWIG BITTENCOURT et al., 2013), resulting in low availability of nutrients derived from plant residue decomposition (PISSINATI, MOREIRA, & SANTORO, 2016). When plant cover is scarce, the soil is also more exposed to rainfall, increasing the probability of particle and nutrient losses by erosion and runoff (PANACHUKI et al., 2011). That seems to have affected the onion yield, which had the lowest total bulb yield in the area without the use of cover crops. Onion yield was affected by a drought of approximately 40 days, which was

associated with a mean temperature of 19.4 ° C in September (Figure 8), which is above the September average, that ranges between 15 and 16 ° C (<https://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/climatologia/>). The high thermal amplitude in this period, at the stage of bulb formation may also have resulted in smaller bulbs. In previous years, the total yield of onion bulbs was 20 Mg ha<sup>-1</sup>, values closer to the yield commonly found with the use of conventional management in the region, which is 25 Mg ha<sup>-1</sup> (SOUZA, 2013; EPAGRI, 2019).

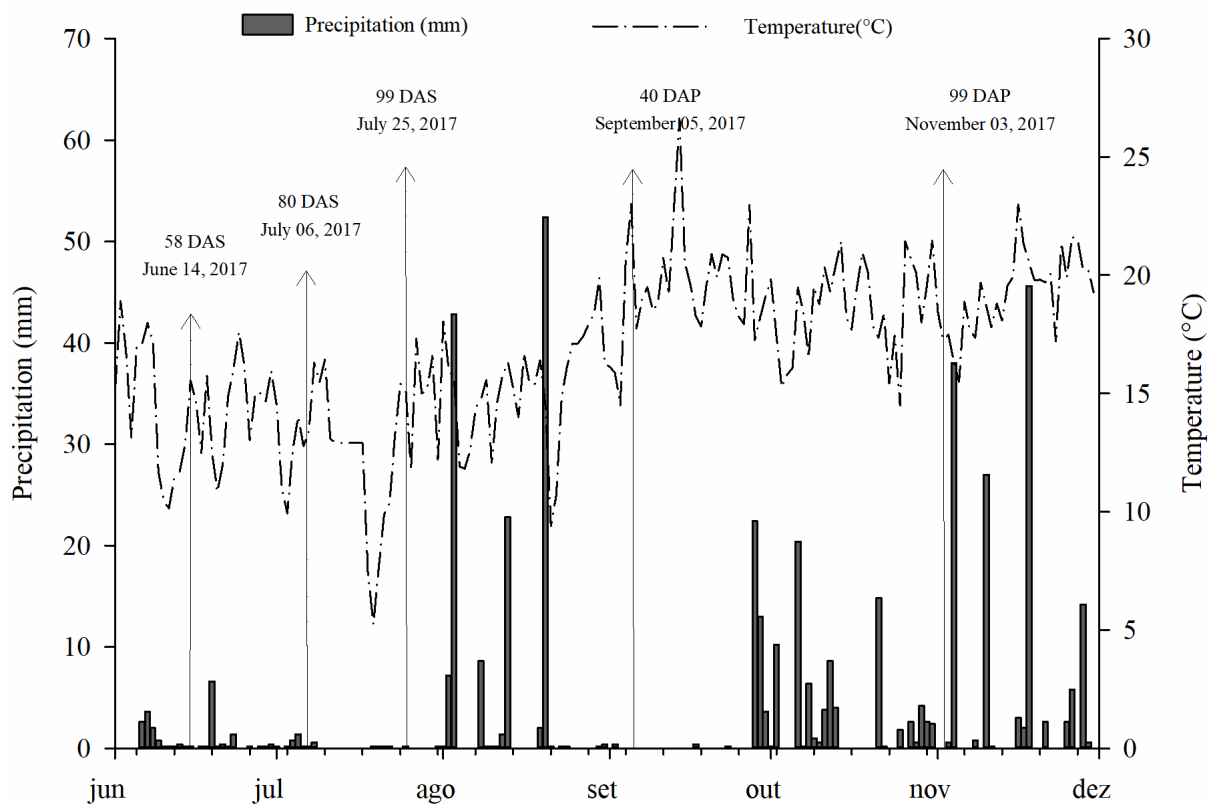


Figure 8 Total precipitation (mm) and mean temperature (°C) from June to November 2017 in Ituporanga, Brazil (data from experimental station - EPAGRI). DAS = Days after sowing; DAP = Days after seedling planting).

The high onion yield in treatments with single oilseed radish or black oats + oilseed radish can be due to the high efficiency of oats in nutrient cycling, especially for potassium (SANTOS et al., 2012). In the same experimental area, OLIVEIRA et al. (2016) found high

amounts of potassium in residues of black oats and intercropped black oats and oilseed radish. Potassium is especially important for the development of onion plants, as it is uptaken from the soil and exported in higher amounts than any other nutrient (DESHPANDE et al 2013; KHOKHAR, 2019.).

The importance of winter cover crops is supported by the robust regression coefficient between winter plant cover biomass and onion yield ( $r^2 = 0.83$ ). The mean yield of 4.5 Mg ha<sup>-1</sup> of cover crop biomass contributed to nutrient cycling and kept the soil protected by decreasing soil and nutrient losses. A similar work found that *Brachiaria*, an aggressive weed, had an 80% reduction in biomass when the area was previously grown with oats yielding 2.6 Mg ha<sup>-1</sup>, which also improved soil quality (THEISEN & VIDAL, 1999). WHITE & WEIL, (2011) evaluated cover crop biomass production and nutrient cycling, and found positive effects on maize yield, mainly due to the phosphorus cycling from high oilseed radish (4.2 Mg ha<sup>-1</sup>) and rye (7.3 Mg ha<sup>-1</sup>) biomass production.

#### 5.4.2. Mycorrhizal colonization, and shoot phosphorus concentration and uptake

Root mycorrhizal colonization in rye (20% in single cultivation and 12% in consortium with oilseed radish) is low, as compared with values from previous studies (SATTELMACHER et al., 1991). This is possibly due to the high soil phosphorus content (BRAUNBERGER et al. 1991; NAHAR et al. 2020), indicated by high phosphorus concentration in plants from all treatments. Rye roots in the rye + oilseed radish treatment had reduced colonization, which may be linked to the simultaneous presence of the non-mycorrhizal oilseed radish. Low arbuscular mycorrhizal root colonization also occurred in onion plants subsequently grown in the same areas. Reduced root colonization may be due to a decrease in the number of arbuscular mycorrhizal fungi propagules in the absence of arbuscular mycorrhizal association during cover crop growth (GALVEZ et al. 1995; DESSAI & RODRIGUES, 2012).

At 40 days after seedling planting, the percentages of onion root total colonization in the rye, spontaneous plants, and conventional tillage system plots were considerably high (ROZPADEK et al., 2016). In the oilseed radish and rye + oilseed radish treatments, the previous presence of the non-mycorrhizal plant species seems to have affected negatively the establishment of the mycorrhizal symbiosis in onion. That indicates that pre-cultivation with those plant species may lower the density of propagules needed to ensure adequate root colonization in the early stages of plant development. The higher percentage of vesicles in the

spontaneous plants plots than in the other treatments may be due to stress conditions. Vesicles are formed by the fungus when it becomes nutritionally limited, as lipid accumulation in vesicles indicates that they are storage structures (PETERSON, 2004).

Cover plants in single rye and spontaneous plants in plots had higher phosphorus concentration in their tissues than those with oilseed radish or rye + oilseed radish. However, phosphorus uptake in plants from areas with cover crops was similar to, or higher than, those found in plants from the fallow areas with spontaneous plant. Inorganic phosphorus uptake by plants is enhanced by phosphatase-catalyzed mineralization of organic phosphorus (ADETUNJI et al., 2017). Besides, rye association with arbuscular mycorrhizal fungi may have contributed to the increases in phosphorus uptake. Those results highlight the importance of cover crops in nutrient cycling, affecting subsequent crops, such as onions.

#### *5.4.3. Acid phosphatase activity and resin-extracted phosphorus*

Acid phosphatase activity in treatments with cover crops was similar to results from previous studies (CONTE et al., 2002; DALLA COSTA & LOVATO, 2004; CASTRO LOPES et al., 2018). That demonstrates the role of acid phosphatase activity for the availability of organic phosphorus, and it also indicates that plants have different strategies to obtain that nutrient. The low acid phosphatase activity in the conventional tillage system may have been caused by recurrent soil tillage, which accelerates decomposition of plant residues, resulting in lower levels of organic matter (SANTOS et al., 2018) and reduced sources of organic phosphorus (DICK, 1984). Higher acid phosphatase activity in no-tillage systems than in conventional tillage areas has been demonstrated in previous papers, like the one by LISBOA et al. (2012).

Acid phosphatase activity in the conventional tillage system was low, in comparison with the conservationist systems, as found in other studies (CONTE et al., 2002; BARBIERI et al., 2019). Although the conventional tillage system Mehlich-extracted soil phosphorus ( $17.1 \text{ mg dm}^{-3}$ ) is considered high according to the regional classification (CQFS RS / SC 2016), acid phosphatase activity may have been affected by the use of millet, which yields abundant biomass and a high C/N ratio, above 30 (CALVO et al. 2010). High C/N ratios delay microbial decomposition and increase the permanence of plant residues on the soil surface even after tillage. Those conditions elicit activity of microorganisms seeking phosphorus from organic

sources (CARDOSO et al., 2013), such as the millet residues remaining in the conventional tillage system.

The high levels of acid phosphatase activity in the forest (Table 3), associated with low soil phosphorus concentration (Table 6), show that mineralization of organic phosphorus is an essential process for the availability of this element in natural areas. CONTE et al. (2002) measured phosphatase activity in a forest area adjacent to a no-till experiment and found that acid phosphatase activity in the soil under native forest was 2.5 times higher than in no-tillage plots. In natural systems, such as native forests and prairies, phosphorus supply to plants depends heavily on organic phosphorus cycling, especially in soils of tropical and subtropical regions (STEWART & TIESSEN, 1987).

We found a consistent pattern of higher acid phosphatase activity in the forest than in managed areas. The conventional tillage system area had the lowest enzymatic activity, while vegetable no-tillage system treatments had an intermediate activity, suggesting that acid phosphatase activity is a good indicator of soil quality (MAKOI & NDAKIDEMI, 2008; MANKOLO et al., 2012; ADETUNJI et al., 2017). That is even more relevant for management systems that use cover crops and have high shoot and root biomass accumulation during the year, in comparison to systems that keep the soil exposed in some periods (DODOR & TABATABAI, 2003).

Resin-extracted phosphorus was higher in the vegetable no-tillage system plots than in the conventional tillage system and the forest. Those high values are, in part, due to the fertilization used with Gafsa rock phosphate and poultry litter, and those levels are maintained over the years due to the use of cover crops that recycle the nutrient. The increase in resin-extracted phosphorus after the rolling of cover crop and spontaneous plant highlights the importance of soil-covering plants to phosphorus cycling. ALMEIDA et al. (2018) reported that cover crops increased resin-extractable phosphorus by up to 10% in a no-tillage system with soybeans and *Urochloa ruziziensis*. Such benefits did not happen in the conventional tillage system area, where this nutrient had to be supplied by chemical fertilizers. Phosphorus extraction with resin seeks to reproduce the process of plant uptake of the most labile phosphorus fractions in the soil. Our results suggest that it is a suitable method for systems increasing the addition of organic matter to the soil, as is the case of no-tillage associated with the use of cover crops. The positive correlation between acid phosphatase activity and resin-extracted phosphorus suggests that a significant part of the soil available phosphorus comes

from enzyme action during the cover crop cycle. CUI et al. (2015) also found a positive correlation between enzyme activity and phosphorus availability in orchards with cover plants.

On the other hand, during the onion cycle, higher phosphorus levels appeared to inhibit phosphatase activity. Higher availability of soluble phosphorus in soil lowers acid phosphatase activity in soil with decreased phosphorus levels over successive years of cultivation (FUJITA et al., 2017; REDEL et al., 2019). The ability of plants to acquire inorganic phosphorus appears to be regulated by transcription of high-affinity phosphate transporters, many of them strongly induced during phosphate deficiency (RAGHOTHAMA & KARTHIKEYAN, 2005). Besides, altered root morphology, due to mycorrhizal symbiosis, increases the ability of plants to acquire inorganic phosphorus (MAI et al. 2019). Phosphorus supply to roots and uptake by the plant are complex processes that need to be approached with different techniques. Soil analysis procedures, such as extraction with resin, associated with measurements of soil biological activity, like enzyme activity, may offer valuable information on phosphorus dynamics in soil and plant.

The results of the principal component analysis show the effect of cover crops on soil chemical and biological quality. The inclusion of cover crops in different production systems favors nutrient cycling, as demonstrated for phosphorus in our study. In addition, the presence of different plants in the fallow, even yielding less plant biomass, reflected the ability of those spontaneous species to cycle nutrients, similarly to the sown cover crops, as previously demonstrated by OLIVEIRA et al. (2016) in the same area. Our results also reaffirmed the negative effect of conventional tillage system on the evaluated attributes, mainly acid phosphatase and available phosphorus, as indicated by resin-extracted forms.

The differences between the management systems demonstrate that crop systems minimizing soil tillage and maximizing plant biomass input increase the overall quality of the environment while avoiding heavy application of highly soluble fertilizers. Although there were lower yields in the no-tillage system than in the conventional tillage system, there were yield increases in comparison with the fallow area, due to reduced tillage and increased biomass addition by cover crops. In the long term, conservation management procedures improve biological and chemical attributes through enhanced nutrient cycling, thereby ensuring production sustainability, while requiring less external inputs to maintain soil and environmental quality.



## 5.5. CONCLUSION

Available soil phosphorus and acid phosphatase activity are higher in no-tillage areas than in conventional tillage areas, and plants in no-tillage areas, with winter cover crops or spontaneous plants, accumulate more phosphorus than plants from areas with tillage. In contrast, the conventional tillage system negatively affects acid phosphatase and resin-extracted phosphorus, as shown by Principal Component Analysis.

Areas with cover crops have higher biomass production and increased onion yield and phosphorus uptake compared with fallow areas with spontaneous plants, and the presence of oilseed radish, a non-mycorrhizal plant, is associated with decreases in the colonization of rye and onion roots by arbuscular mycorrhizal fungi.

## 6. CONCLUSÕES GERAIS

Dentre as espécies de fungos micorrízicos arbusculares mais encontradas destacam-se as das famílias Glomeraceae e Acaulosporaceae, e condições climáticas e atributos do solo tiveram efeito na comunidade micorrízica.

A hipótese de que a presença de planta não micorrízica, nesse caso o nabo-forrageiro, diminui a ocorrência de espécies de FMA não foi confirmada, apesar de a presença desta espécie estar associada a diminuições na colonização de raízes de centeio e de cebola por FMA.

O uso de plantas de cobertura em sistema de sucessão mantém a comunidade micorrízica natural em termos de ocorrência e de colonização de plantas, além de proporcionar maior produção de biomassa e aumento da produção de cebola e absorção de fósforo, em comparação com áreas de pousio de inverno com plantas espontâneas.

O fósforo disponível no solo, a atividade da fosfatase ácida e o acúmulo de fósforo nas plantas são maiores em áreas de plantio direto que em áreas de plantio convencional, e o sistema de preparo convencional reduz a atividade da fosfatase ácida e o fósforo do solo extraído da resina.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese foi desenvolvida junto ao Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-SC) da Universidade Federal de Santa Catarina, em um experimento implantado em 2009 com a cultura da cebola (*Allium cepa* L.) na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). O referido experimento faz parte de uma proposta metodológica como estratégia para transição agroecológica, o Sistema Plantio direto de Hortaliças (SPDH). O trabalho pertence a uma sucessão de trabalhos concluídos, dissertações de mestrado e teses de doutorado, que tiveram enfoques em fitossociologia e dinâmica da emergência das plantas espontâneas, em atributos químicos do solo e rendimento da cebola, em decomposição e mineralização de nutrientes de resíduos das plantas de cobertura, em frações orgânicas e atributos químicos em agregados do solo, na contribuição do nitrogênio de resíduos de plantas de cobertura para a cebola e na emissão de gases de efeito estufa. Dentre os últimos trabalhos em andamento alguns tiveram como enfoque a microbiologia do solo, relacionado a influência dos fungos micorrízicos arbusculares na agregação do solo e na atividade enzimática do solo bem como esta tese, que iniciou os estudos com objetivo de entender a dinâmica da comunidade de FMA e sua influência na liberação e absorção de fósforo. Esses trabalhos vêm contribuindo na geração de conhecimento e fortalecimento do SPDH que visa ao redesenho da propriedade, em que haja aumento da diversidade vegetal e microbiológica do solo, buscando estabelecer relações de equilíbrio no sistema produtivo com foco em promoção de saúde de plantas. Na prática, os estudos aqui feitos contribuem para o caminhar do SPDH, demonstrando que o manejo escolhido para o cultivo de hortaliças contribui no aumento de produtividade da cultura de interesse econômico além de promover melhorias na qualidade química e biológica do solo, garantindo em longo prazo a manutenção de uma agricultura que depende e preserva os recursos naturais.

De forma mais direta, relacionada aos objetivos desta tese, diversas questões estão consolidadas e evidenciadas pelas referências. Por exemplo, está demonstrado que há produção de fosfatases pelos microrganismos, alcalina pelas bactérias e ácida pelos fungos, e que as plantas influenciam nas comunidades de fungos e vice e versa. Porém, é necessário ampliar a compreensão sobre alguns mecanismos. Por exemplo, como ocorre de fato a solubilização do fósforo no solo, qual a contribuição real das micorrizas nesse processo? Como ocorrem os sinais

bioquímicos? Para tais questões são necessários estudos com técnicas mais elaboradas. Um ponto que tem limitado avanços nas pesquisas refere-se às condições para a realização de análises após as coletas de dados a campo. Apenas mensurar quantitativamente a fosfatase e a colonização por FMA, por exemplo, não foi suficiente para inferir sobre a relação direta entre eles. Poderia ser sugerido algum experimento mais exploratório, em vasos com solo retirado dos diferentes manejos. Com o uso de telas finas, pelas quais passem apenas as hifas, poderiam se fazer análises nas áreas com hifas e nas áreas com hifas e raízes, o que permitiria inferência em que parte do solo há produção enzimática.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADETUNJI, A. T. et al. The biological activities of beta- glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794–807, set. 2017.

ALMEIDA, D. S. et al. Soil phosphorus bioavailability and soybean grain yield impaired by ruzigrass. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 2, p. 654–663, 2018. Available from: <<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2017.08.0451>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.08.0451>

ANDERSON, M. J. Distance-Based Tests for Homogeneity of Multivariate Dispersions. **Biometrics**, v. 62, n. 1, p. 245–253, mar. 2006.

ANGELINI, G. A. R. et al. 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.

BAKSHANDEH, S. et al. Effect of crop rotation on mycorrhizal colonization and wheat yield under different fertilizer treatments. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 247, p. 130–136, set. 2017.

BARBIERI, M. et al. Trial on soil bioactivity under no-tillage in succession or rotation of winter and summer crops. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 122–134, 2019. Available from: <<https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/17025>>. Accessed: Aug. 12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.19084/RCA17068>

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um cambissolo húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 1, p. 91–95, mar. 2000.

BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral

e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781–792, ago. 2007.

BETEKHTINA ANNA A. ; VESELKIN DENIS V. . Mycorrhizal and non-mycorrhizal dicotyledonous herbaceous plants differ in root anatomy: evidence from the Middle Urals, Russia. **Symbiosis**, v. 77, n. 2, p. 133–140, fev. 2019.

BITTENCOURT, H. VON H. et al. Effect of winter cover crop biomass on summer weed emergence and biomass production. **Journal of Plant Protection Research**, v. 53, n. 3, p. 248–252, 20 set. 2013.

BORTOLINI, J. G. et al. 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, 8 mar. 2021.

BOWLES, T. M. et al. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252–262, 2014. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071713003398>>. Accessed: Mar. 10, 2020. Doi: doi:10.1016/j.soilbio.2013.10.004

BRAUNBERGER, P. G., et al.,L. Effect of phosphorus nutrition on morphological characteristics of vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize. **New Phytologist**, v. 119, n. 1, p. 107–113, 1991. Available from: <<https://www.researchgate.net/publication/230028783>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb01013.x>

BRUNDRETT, M. C. Global Diversity and Importance of Mycorrhizal and Nonmycorrhizal Plants. In: TEDERSOO, L. (Ed.). . **Biogeography of Mycorrhizal Symbiosis**. Cham: Springer International Publishing, 2017. v. 230p. 533–556.

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

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/sa/v70n4/a09v70n4.pdf>>. Accessed: Mar. 01, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>

CARNEIRO, M. A. C. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and nematodes in a 14 years no-tillage chronosequence. **Rhizosphere**, v. 10, p. 100149, 2019. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S245221981830137>>. Accessed: Feb. 29, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100149>

CASTRO LOPES, A. A. et al. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 12, p. 72–82, 2018. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S235200941730130X?via%3Dihub>>. Accessed: Feb. 29, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.01.003>

CHANNABASAVA, A.; LAKSHMAN, H. C. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of selected millets, South Western India. **Nova Hedwigia**, v. 101, n. 1–2, p. 111–130, 1 ago. 2015.

CHAUDHARY, V. B.; LAU, M. K.; JOHNSON, N. C. Macroecology of Microbes – Biogeography of the Glomeromycota. In: VARMA, A. (Ed.). **Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. p. 529–563.

CHIOMENTO, J. L. T. et al. Composition of arbuscular mycorrhizal fungi communities signals generalist species in soils cultivated with strawberry. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 286–294, jul. 2019.

CLARKE, K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Austral Ecology**, v. 18, n. 1, p. 117–143, mar. 1993.

CLOUTIER, M. L. et al. Fungal community shifts in soils with varied cover crop treatments and edaphic properties. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 6198, dez. 2020.

COMIN, J. J. et al. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil and Tillage Research**, v. 184, p. 195–202, dez. 2018.

COMIN, J. J. et al. 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, 2018b. Available from: <<https://revistas.unlp.edu.ar/revagro/article/view/7335>>. Accessed: Aug. 18, 2019.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2004, 400p.

CONTE, E. et al. Phosphorus in the microbial biomass and acid phosphatase activity by phosphate application in soil under no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 925–930, 2002. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n4/09.pdf>>. Accessed: Aug. 12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400009>

CUNHA, E. DE Q. et al. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1021–1029, out. 2011.

DALLA COSTA, M.; LOVATO, P. E. Phosphatase activity in soil under mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 603–605, 2004. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/pab/v39n6/v39n6a13.pdf>>. Accessed: Aug. 12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000600013>

DATTA, R. et al. How enzymes are adsorbed on soil solid phase and factors limiting its activity:

A Review. **International Agrophysics**, v. 31, n. 2, p. 287–302, 25 abr. 2017.

DE LA PROVIDENCIA, I. E. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi reveal distinct patterns of anastomosis formation and hyphal healing mechanisms between different phylogenetic groups. **New Phytologist**, v. 165, n. 1, p. 261–271, jan. 2005.

DE MASTRO, F. et al. Influence of crop rotation, tillage and fertilization on chemical and spectroscopic characteristics of humic acids. **PLOS ONE**, v. 14, n. 6, p. e0219099, 27 jun. 2019.

DE PONTES, J. S. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian's Cerrado and in soybean under conservation and conventional tillage. **Applied Soil Ecology**, v. 117–118, p. 178–189, 2017. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139317301506>>. Accessed: Mar. 10, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.023>

DESHPANDE, A. N. et al. **Potassium nutrition for improving yield and quality of onion**. 2013. Available from: <<https://www.ipipotash.org/publications/eifc-312>>. Accessed February 27, 2020.

DESSAI, S. A.; RODRIGUES, B. F. Diversity studies on arbuscular mycorrhizal fungi in vegetable crop plants of Goa, India. **Plant Pathology & Quarantine**, v. 2, n. 2, p. 87–101, 2012. Available from: [https://plantpathologyquarantine.org/pdf/PPQ\\_2\\_2\\_1.pdf](https://plantpathologyquarantine.org/pdf/PPQ_2_2_1.pdf). Accessed: Dec. 02, 2019. Doi: <https://doi.org/10.5943/ppq/2/2/1>

DICK, W. A.; CHENG, L.; WANG, P. Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 13, p. 1915–1919, nov. 2000.

DIEKOW, J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; MARCOLAN, L. Influência da relação C/N de plantas de cobertura do solo e adubação nitrogenada de grãos de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. 1997, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro: SBSC/EMBRAPA/UFRRJ, 1997.

DODOR, D. E.; TABATABAI, M. A. Effect of cropping systems on phosphatases in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 166, n. 1, p. 7–13, 2003. Available from: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jpln.200390016>>. Accessed: Jul. 24, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1002/jpln.200390016>

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ªed. (Brasília) Embrapa Produção de informação, Embrapa Solos, 2013, 353p.

EOM, A.-H.; HARTNETT, D. C.; WILSON, G. W. T. Host plant species effects on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. **Oecologia**, v. 122, n. 3, p. 435–444, 23 fev. 2000.

EPAGRI/Cepa, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Boletim Agropecuário. 2019. Florianópolis, 48p. (Epagri. Documentos, 295).

EPAGRI/CEPA **Boletim Agropecuário**. Abril/2020. Florianópolis, 2020, 51p. (Epagri. Documentos, 309). ISSN: 2674-9521 (on-line)

FAYAD JA; MONDARDO M. 2004. **Sistema de plantio direto de hortaliças: O cultivo do tomateiro** no Vale do Rio do Peixe, SC, em 101 respostas aos agricultores. Florianópolis: EPAGRI, 2004. 54p.

FAYAD, J. A. et al. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças: método de transição para um novo modo de produção**. 1. ed. São Paulo: Expressão Popular, v. 1, 2019, 426p.

FERREIRA, L. B. et al. Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil Research**, v. 56, n. 8, p. 846, 2018.

FERREIRA, L. B. et al. Organic carbon and nitrogen contents and their fractions in soils with onion crops in different management systems. **Soil Research**, v. 56, n. 8, p. 846, 2018. Available from: <<https://www.publish.csiro.au/sr/SR18167>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi:<https://doi.org/10.1071/SR18167>

FUJITA, K. et al. Microbial resource allocation for phosphatase synthesis reflects the availability of inorganic phosphorus across various soils. **Biogeochemistry**, v. 136, n. 3, p. 325–339, 2017. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10533-017-0398-6>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0398-6>

GALVEZ, L. et al. An overwintering cover crop increases inoculum of VAM fungi in agricultural soil. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 10, n. 4, p. 152–156, 1995. Available from: <<https://doi.org/10.1017/S0889189300006391>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1017/S0889189300006391>

GATIBONI, L. C. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1085–1091, ago. 2008.

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, n. 2, p. 235–244, jun. 1963.

GONÇALVES, P.A de S.; BOFF, P.& ROWE, E. **Referências tecnológicas para a produção de cebola em sistemas orgânicos**. Florianópolis: Epagri, 2008. 21p. (Epagri. Boletim Técnico, 142).

GOSLING, P.; JONES, J.; BENDING, G. D. Evidence for functional redundancy in arbuscular mycorrhizal fungi and implications for agroecosystem management. **Mycorrhiza**, v. 26, n. 1, p. 77–83, jan. 2016.

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, abr. 2012.

GUGEL, J. T. Cebola. pg 31 in Epagri 2017. **Boletim agropecuário**. n.50. p.56. 2017.



- HART, M. M. et al. Navigating the labyrinth: a guide to sequence-based, community ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 207, n. 1, p. 235–247, jul. 2015.
- HERTWIG BITTENCOURT, H. VON et al. Effect of winter cover crop biomass on summer weed emergence and biomass production. **Journal of Plant Protection Research**, v. 53, n. 3, p. 248–252, 2013. Available from: <<https://journals.pan.pl/dlibra/publication/103172/edition/89184/content>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0037>
- HINSINGER, P. et al. Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. **Plant and Soil**, v. 321, n. 1, p. 117–152, 1 ago. 2009.
- HOAGLAND & ARNON 1950 The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station, California. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19500302257>
- HORTIBRASIL. **Norma De Classificação Da Cebola Para o Programa Brasileiro Para a Melhoria Dos Padrões Comerciais e Embalagens De Hortigranjeiros. 2010.** Online, Available from: <<http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/cebola/arquivos/norma.html>>. Accessed: Feb, 20, 2017.
- KHOKHAR, K. M. Mineral nutrient management for onion bulb crops – a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 94, n. 6, p. 703–717, 2019. Available from: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14620316.2019.1613935>>. Accessed: Feb. 29, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1613935>
- KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, v. 92, n. 4, p. 486–488, 1989. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0953756289801959>>. Accessed: Aug. 07, 2017. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(89\)80195-9](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(89)80195-9)
- KUNZE, A. et al. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 705–711, jun. 2011.
- LISBOA, B. B. et al. Microbial indicators of soil quality in different management systems **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 33–44, 2012. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n1/v36n1a04.pdf>>. Accessed: Feb. 15, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>
- LOSS, ARCÂNGELO et al. Soil physical attributes of onion cultivation under no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Colombiana de Ciências Hortícolas**, v. 11, n.1, p. 105–113, 2017. Available from: <<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6144>
- MAI, W. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi – 15-Fold enlargement of the soil volume of cotton roots for phosphorus uptake in intensive planting conditions. **European Journal of Soil Biology**, v. 90, p. 31–35, 2019. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556318303182>>. Accessed: Dec. 02, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.12.002>

MAKOI, J., NDAKIDEMI, P.A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 3, 2008. Available from: < <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/58355>>. Accessed: Jul. 24, 2019.

MANKOLO, R. et al. Soil Biochemical Changes Induced by Poultry Litter Application and Conservation Tillage under Cotton Production Systems. **Agronomy**, v. 2, n. 3, p. 187–198, 2012. Available from: < <https://www.mdpi.com/2073-4395/2/3/187>>. Accessed: Aug. 12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy2030187>

MCGONIGLE, T. P. et al. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 115, n. 3, p. 495–501, 1990. Available from: < <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x> >. Accessed: Feb. 21, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>

MEDEIROS, G. B.; CALEGARI, A. Rotação de Culturas. In: CASÃO JÚNIOR, R. et al. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p.135-141.

MENDES, I. DE C. et al. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85–93, 2019. Available from: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139318312253>>. Accessed: Mar. 10, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025>

MIRANDA, J. C. C. DE; MIRANDA, L. N. DE. **Contribuição da micorriza arbuscular para a produtividade e sustentabilidade nos sistemas de produção com plantio direto e convencional no Cerrado**. - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/557814/contribuicao-da-micorriza-arbuscular-para-a-produtividade-e-sustentabilidade-nos-sistemas-de-producao-com-plantio-direto-e-convencional-no-cerrado>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó: [Edição do autor], 1991. 336 p.

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

MORTON, J. B.; BENTIVENGA, S. P.; WHEELER, W. W. Germ plasm in the international collection of arbuscular and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (INVAM) and procedures for culture development, documentation and storage. **Mycotaxon (USA)**, 1993.

MÜLLER JÚNIOR, V. et al. Nitrous oxide emissions in no-tillage onion (*Allium cepa* L.) crops are increased by oilseed radish cover crop and poultry manure application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. e0180116, 2019. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v43/1806-9657-rbcs-43-e0180116.pdf>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180116>

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31–36, 1962. Available from: <[https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)>. Accessed: Aug. 07, 2017. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)

NAGPURE, J.; AK, P.; MIR, S. A. Diversity of VAM fungi associated with the roots of weed plants collected from different sites of Jabalpur Madhya Pradesh. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 1, p. 323–327, 2019.

NAHAR, K.; et al. Mycorrhizal colonization in bread wheat varieties differing in their response to phosphorus. **Journal of Plant Nutrition**, p. 1–17, 2020. Available from: <<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1793190>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1793190>

NEUENKAMP, L. et al. The role of plant mycorrhizal type and status in modulating the relationship between plant and arbuscular mycorrhizal fungal communities. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1236–1247, dez. 2018.

OKSANEN, J. et al. **vegan: Community Ecology Package**. 2013. [s.l: s.n.]. Available from: <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>>. Accessed: Jul. 30, 2020.

OLIVEIRA, R. A. DE et al. Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 23 jun. 2016.

OLIVEIRA, R. A. DE et al. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 0, 2017. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v41/0100-0683-rbcs-18069657rbcs20160272.pdf>>. Accessed: Mar. 10, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160272>

PAKARINEN, A. et al. Boreal soil microbial diversity and seed onion mycorrhizal colonization is unaffected by preceding one season crop cultivation. **European Journal of Soil Biology**, v. 105, p. 103335, jul. 2021.

PANACHUKI, E. et al. Perdas de solo e de água e infiltração de água em latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1777–1786, out. 2011.

PARANAVITHANA, T. M. et al. Effects of crop rotation on enhanced occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi and soil carbon stocks of lowland paddy fields in seasonal dry tropics. **Paddy and Water Environment**, v. 19, n. 1, p. 217–226, jan. 2021.

PAULETTI, V. et al. Atributos químicos de um latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 581–590, jun. 2009.

PETERSON, R. L et al. **Mycorrhizas: anatomy and cell biology**. NRC Research Press ; CABI Pub, Ottawa : Wallingford, Oxon, UK, 2004. 196p

PISSINATI, A.; et al. Biomass Yield and Nutrients Concentration in Shoot Dry Weight of Winter Cover Crops for No-Tillage System. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 20, p. 2292–2305, 2016. Available from: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2016.1243711>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1243711>

POWELL, J. R.; RILLIG, M. C. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. **New Phytologist**, v. 220, n. 4, p. 1059–1075, 2018.

QIU, L. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate the chemical properties and enzyme activities of rhizosphere soil in reclaimed mining subsidence in northwestern China. **Journal of Arid Land**, v. 11, n. 1, p. 135–147, 2019. Available from: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40333-018-0019-9>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0019-9>

**R Development Core Team. R: The R Project for Statistical Computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Accessed: 30 jul. 2020.

RAGHOTHAMA, K. G.; KARTHIKEYAN, A. S. Phosphate acquisition. In: LAMBERS, H.; COLMER, T. D. (Eds.). . **Root Physiology: from Gene to Function**. Dordrecht: Springer Netherlands, v. 4, p. 37–49, 2005. Available from: <[https://doi.org/10.1007/1-4020-4099-7\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-4099-7_2)>. Accessed: Aug. 12, 2019. Doi: [https://doi.org/10.1007/1-4020-4099-7\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-4099-7_2)

REDEL, Y. et al. Fertilizer P uptake determined by soil P fractionation and phosphatase activity. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, n. 1, p. 166–174, 2019. Available from: <<https://doi.org/10.1007/s42729-019-00024-z>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00024-z>

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, v. 171, n. 1, p. 41–53, 2006. Available from: <<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x>>. Accessed: Aug. 07, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x>

ROZPADEK, P. et al. Arbuscular mycorrhiza improves yield and nutritional properties of onion (*Allium cepa*). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 107, p. 264–272, 2016. Available from: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942816302273>>. Accessed: Jun. 26, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.06.006>

SANDERS, I. R.; RODRIGUEZ, A. Aligning molecular studies of mycorrhizal fungal diversity with ecologically important levels of diversity in ecosystems. **The ISME Journal**, v. 10, n. 12, p. 2780–2786, dez. 2016.

SANTOS, L. H. et al. Carbon and nitrogen content in granulometric fractions of organic matter in soil aggregate under no-tillage and conventional tillage planting systems for onions. **Idesia (Arica)**, p.01-09, 2018.

SANTOS, L. H. DOS et al. Chemical properties in macroaggregates of a humic dystropept cultivated with onion under no-till and conventional tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 0, 2017. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v41/0100-0683-rbcs-18069657rbcs20160419.pdf>>. Accessed: Mar. 10, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160419>

SANTOS, S. DA S. et al. Production of organically grown onions depending on the use of mulch and castor bean cake. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 549–552, 2012. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/hb/v30n3/32.pdf>>. Accessed: Mar. 10, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300032>

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Increasing drought decreases phosphorus availability in an evergreen Mediterranean forest. **Plant and Soil**, v. 267, n. 1, p. 367–377, 1 dez. 2004.

SATO, T. et al. (2015) Release of acid phosphatase from extraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus*. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.61, n. 2, p. 269-274, 2015. DOI: [10.1080/00380768.2014.993298](https://doi.org/10.1080/00380768.2014.993298)

SATTELMACHER, B. et al. Differences in mycorrhizal colonization of rye (*Secale cereale* L.) grown in conventional or organic (Biological-dynamic) farming systems. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 167, n. 5, p. 350–355, 1991. Available from: <<https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1991.tb00967.x>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1991.tb00967.x>

SAWAKI, H.; SUGAWARA, K.; SAITO, M. Phylogenetic position of an arbuscular mycorrhizal fungus, *Acaulospora gerdemannii*, and its synanamorph *Glomus leptotichum*, based upon 18S rRNA gene sequence. **Mycoscience**, v. 39, n. 4, p. 477–480, 1 dez. 1998.

SCHENCK, N. C.; PÉREZ, Y. **Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi**. Gainesville, FL: Synergistic Publications, 1990.

SHAH, M. A.; RESHI, Z. A.; KHASA, D. Arbuscular mycorrhizal status of some Kashmir Himalayan alien invasive plants. **Mycorrhiza**, v. 20, n. 1, p. 67–72, nov. 2009.

SIMS, G. K. Biological Degradation of Soil. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Advances in Soil Science: Soil Degradation Volume 11**. Advances in Soil Science. New York, NY: Springer, 1990. p. 289–330.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A. & OLIVEIRA, E. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.12, p.1499-1506, 1989.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/199962/microrganismos-e-processos-biologicos-do-solo-perspectiva-ambiental>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

SMITH, S.; READ, D. **Mycorrhizal Symbiosis - 3rd Edition**. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/books/mycorrhizal-symbiosis/smith/978-0-12-370526-6>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

SOUZA, M. et al. Dry matter of cover crops, onion yield and soil chemical attributes in agroecological no-tillage system. **Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 21-27, 2013. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/cr/v43n1/a2313cr2012-0165.pdf>>. Accessed: Mar. 10, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000150>

SOUZA, M. et al. Weed Emergence in a Soil with Cover Crops in an Agroecological No-Tillage System. **Planta Daninha**, v. 36, n. 0, 3 set. 2018.

STEWART, J. W. B.; TIESSEN, H. Dynamics of Soil Organic Phosphorus. **Biogeochemistry**, v. 4, n. 1, p. 41–60, 1987.

STEWART-WADE, S. M. et al. The biology of Canadian weeds. 117. *Taraxacum officinale* G. H. Weber ex Wiggers. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 82, n. 4, p. 825–853, 1 out. 2002.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: MOREIRA, F. M. DE S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.) Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras: Editora UFLA , 2008. p.537-584.

STÜRMER, S. L.; BEVER, J. D.; MORTON, J. B. Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota): a phylogenetic perspective on species distribution patterns. **Mycorrhiza**, v. 28, n. 7, p. 587–603, 1 out. 2018.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Species richness and spore abundance of arbuscular mycorrhizal fungi across distinct land uses in Western Brazilian Amazon. **Mycorrhiza**, v. 21, n. 4, p. 255–267, 1 maio 2011.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W. et al. **Methods of soil analysis. Part 2. Microbial and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775- 833. (Soil Science Society of America series, 5)

TARAFDAR, J. C. Visual demonstration of in vivo acid phosphatase activity of VA mycorrhizal fungi. **Current Science**, v. 69, n. 6, p. 541–543, 1995. Available from: <<https://www.jstor.org/stable/24096888?seq=1>>. Accessed: Oct. 22, 2019.

TAWARAYA, K.; NAITO, M.; WAGATSUMA, T. Solubilization of Insoluble Inorganic Phosphate by Hyphal Exudates of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. **Journal of Plant Nutrition**, v. 29, n. 4, p. 657–665, maio 2006.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de Solos, Plantas e Outros Materiais Tedesco-Et-Al-1995 PDF | PDF**. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/362494561/Analise-de-solos-plantas-e-outros-materiais-Tedesco-et-al-1995-pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

THEISEN, G.; VIDAL, R. A. Alexandergrass life-cycle is affected by black oat residues on the soil surface. **Planta Daninha**, v. 17, n. 2, p. 189–196, 1999. Available from: <<https://www.scielo.br/pdf/pd/v17n2/03.pdf>>. Accessed: Mar. 24, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-83581999000200003>

THE DAILY RECORDS. Top 13 Largest Onion Producing Countries In The World - Janeiro 26, 2019. Disponível em [http://www.thedailyrecords.com/2018-2019-2020-2021/world-famous-96-top-10-list/world/largest-onion-producing-countries-world-statisticsstates-exporting/6564/#9\\_Brazil](http://www.thedailyrecords.com/2018-2019-2020-2021/world-famous-96-top-10-list/world/largest-onion-producing-countries-world-statisticsstates-exporting/6564/#9_Brazil).

TRUBER PV et al. 2009 efeito do pré-cultivo de diferentes coberturas de Inverno no potencial de inóculo de fungos micorrízicos Arbusculares. *Synergismus scyentifica UTFPR, Pato Branco*, 04, (1). 2009

TURNER, B. L. Resource partitioning for soil phosphorus: a hypothesis. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 4, p. 698–702, jul. 2008.

VAN AARLE, I. M.; PLASSARD, C. Spatial distribution of phosphatase activity associated with ectomycorrhizal plants is related to soil type. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 2, p. 324–330, fev. 2010.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A. et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v. 396, n. 6706, p. 69–72, nov. 1998.

VENTURA, B. S. et al. Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in an onion no-tillage system. **Ciência Rural**, v. 51, n. 10, p. e20200740, 2021.

VIEIRA, C. K. et al. Morphological and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in revegetated iron-mining site has the same magnitude of adjacent pristine ecosystems. **Journal of Environmental Sciences**, v. 67, p. 330–343, maio 2018.

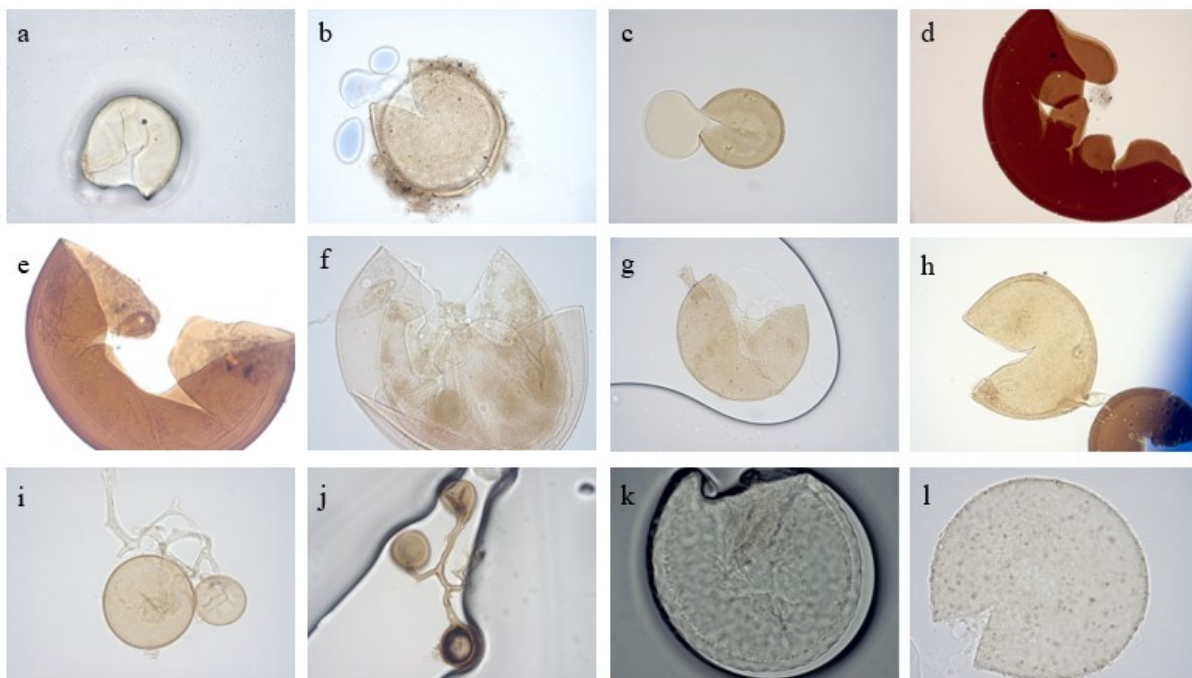
WALKER, C. et al. Molecular phylogeny and new taxa in the Archaeosporales (Glomeromycota): *Ambispora fennica* gen. sp. nov., *Ambisporaceae* fam. nov., and emendation of *Archaeospora* and *Archaeosporaceae*. **Mycological Research**, v. 111, n. 2, p. 137–153, fev. 2007.

WHITE, C. M.; WEIL, R. R. Forage radish cover crops increase soil test phosphorus surrounding radish taproot holes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 1, p. 121–130, jan. 2011. Available from: <<https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0095>>. Accessed: Nov. 30, 2019. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0095>

YANG, F. Y. et al. Geographical and plant genotype effects on the formation of arbuscular mycorrhiza in *Avena sativa* and *Avena nuda* at different soil depths. **Biology and Fertility of Soils**, v. 46, n. 5, p. 435–443, jun. 2010.

## ANEXO I

Espécies de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em um Cambissolo, Ituporanga – SC.



a) *Acaulospora Sieverdingii*. b) *Acaulospora scrobiculata*. c) *Claroideoglossum etunicatum*. d) *Gigaspora* sp e) *Dentiscutata heterogama* f) *Cetraspora pellucida*. g) *Funneliformis mosseae* h) *Funneliformis geosporum* i) *Glomus* sp1. j) *Glomus* sp 7. k) *Glomus* sp9. l) *Glomus* sp10