

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

Edenilson Meyer

**MICORRIZAS ARBUSCULARES EM GENÓTIPOS DE MILHO
E INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE
SOLOS DO OESTE CATARINENSE SOBRE A SIMBIOSE**

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

Orientador: Prof. Paulo Emílio Lovato

Florianópolis, SC
2018

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

Meyer, Edenilson
Micorrizas arbusculares em genótipos de milho e
influência dos atributos físico-químicos de solos do
Oeste Catarinense sobre a simbiose / Edenilson
Meyer ; orientador, Paulo Emilio Lovato, 2018.
63 p.

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

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Fungos
micorrízicos arbusculares. 3. Zea mays. 4. Manejo do
solo. 5. Fósforo. I. Lovato, Paulo Emilio. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais. III.
Título.

Micorrizas arbusculares em genótipos de milho e influência dos atributos físico-químicos de solos do Oeste Catarinense sobre a simbiose

por

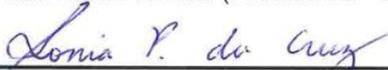
Edenilson Meyer

Dissertação julgada e aprovada em 23/02/2018, em sua forma final, pelo Orientador e membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração Recursos Genéticos Vegetais, no Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, CCA/UFSC.

Banca Examinadora:



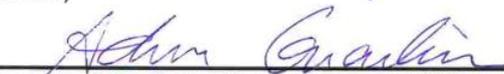
Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato (Presidente - CCA/UFSC)



Prof^a. Dr^a. Sonia Purin da Cruz (Externo - CBS/UFSC)
(Participação por videoconferência)



Prof. Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares (Interno - CCB/UFSC)



Prof. Dr. Admir José Giachini (Externo - CCB/UFSC)



Prof. Dr. Paulo Emílio Lovato (Coordenador do Programa)

Florianópolis, fevereiro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre comigo, especialmente nos momentos mais difíceis me dando força para jamais desistir.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES, pela bolsa de estudo concedida, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa e, à Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais.

Agradeço, especialmente, à minha família, meu pai Luis Carlos, minha mãe Wera Lúcia, meus irmãos Anderson, Cleverson e Jeferson, minha querida avó e madrinha Frida Müller e todos os demais familiares que sempre estiveram ao meu lado dando-me apoio e carinho.

Ao meu orientador, Paulo Emílio Lovato, por todo o conhecimento científico e crescimento pessoal proporcionado.

Ao professor Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares por toda a ajuda e apoio no desenvolvimento da dissertação e a todos os demais professores do laboratório de Microbiologia do Solo.

A todos os amigos e colegas do laboratório de Ecologia do Solo e Microbiologia do Solo que de alguma maneira me auxiliaram nesses dois anos de Mestrado, me ajudando com análises e dando-me apoio para o desenvolvimento desta dissertação. Os meus agradecimentos vão em especial a: Anna Flávia Neri, Barbara Ventura, Emanuella Pille, Juliana Scarsanella, André Steiner Vieira, Karina Goulart, Addressa Canei, Ana Carolina Peixoto, Kelly Besen, Anabel González Hernández, Rafael Dutra de Armas, Shantau Stoffel, Vanessa Tedesco, Marcos Leandro dos Santos, Marcelo Betancur.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

A todos, meu muito obrigado.

*Que os nossos esforços desafiem as
impossibilidades. Lembrai-vos de que as grandes
proezas da história foram conquistas daquilo que
parecia impossível. (Charles Chaplin)*

RESUMO

Este trabalho inclui dois estudos com o objetivo avaliar a associação micorrízica arbuscular em genótipos de milho cultivados no Oeste Catarinense e os efeitos dos atributos físico-químicos do solo sobre a simbiose. O primeiro teve como objetivo avaliar, em condições controladas, cinco genótipos de milho crioulo e cinco de híbrido mais cultivados no Oeste de Santa Catarina, quanto à características de associação micorrízica e sua relação com parâmetros de crescimento vegetal. Para isso, montou-se um experimento em casa de vegetação com os genótipos cultivados em solo não estéril sob baixo nível de P, com cinco repetições. Após 60 dias de cultivo, realizou-se a coleta das plantas e determinaram-se a altura, diâmetro do colmo, massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), relação MSPA/MSR, colonização por vesículas, colonização por arbúsculos, colonização total, e teor e acúmulo de P foliar. No segundo estudo, buscou-se avaliar os efeitos das características físico-químicas do solo em três sistemas de cultivo de milho no Oeste de Santa Catarina sobre a simbiose com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Para isto, realizou-se coleta de solo, plantas e raízes em cinco propriedades de milho (crioulo, convencional e transgênico) em São Miguel do Oeste e municípios vizinhos, com cinco pontos de coleta em cada, por dois anos consecutivos. Determinou-se a colonização micorrízica, parâmetros físico-químicos do solo e teor de fósforo foliar. Além da análise da variância, realizou-se teste de Tukey, correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) e Análise de Redundância (RDA) para verificar as relações entre variáveis físico-químicas do solo e aquelas relacionadas às micorrizas. Com o primeiro estudo verificou-se que os genótipos possuem estratégias diferenciadas quanto ao crescimento em baixo P em relação à produção de raízes e parte aérea vegetal. Não se constataram diferenças na associação micorrízica em genótipos de milho crioulo e híbridos, em solo com baixo P. No segundo estudo, verificou-se que as variáveis físico-químicas do solo, em cada propriedade, tem influência maior sobre as variáveis micorrízicas que os grupos de milhos (crioulo, convencionais ou transgênicos) utilizados, destacando-se a importância do manejo e fertilidade do solo para a simbiose.

Palavras-chave: Fungos micorrízicos arbusculares, *Zea mays*, Manejo do solo, Fósforo.

ABSTRACT

Two studies were carried out in Western Santa Catarina, Southern Brazil, aiming to evaluate arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize genotypes, as well as the effects of soil physical-chemical attributes on that symbiosis. The first study assessed, under controlled conditions, the mycorrhizal association and its relation to growth parameters of five landrace maize genotypes and the five most used commercial hybrids, either genetically modified (GM) or not. A greenhouse experiment was carried out in non-sterile, low-P soil. After 60 days, plant height, stem diameter, shoot (MSPA) and root (MSR) dry mass, MSPA/MSR ratio, vesicle colonization, arbuscular colonization, total colonization, and leaf P content and accumulation were measured. The second study evaluated the effects of soil physical-chemical characteristics on arbuscular mycorrhiza in three maize management systems in Western Santa Catarina. Soil, plants, and roots were collected, for two consecutive years, in five farms growing each of the plant genotypes (Landrace, conventional or GM hybrids). Mycorrhizal colonization, soil physical-chemical parameters, and leaf phosphorus content were measured. In addition to analysis of variance, Pearson's correlation ($p \leq 0.05$) and Redundancy Analysis (RDA) were used to verify relationships between physical-chemical soil variables and those related to mycorrhizas. The first study showed that the genotypes have differentiated strategies regarding shoot and root growth in low soil P. There were no differences in mycorrhizal root colonization in between landraces and hybrids in soil with low P. In the second study, it was verified that the physical-chemical variables of the soil, in each farm, have a greater influence on the mycorrhizal variables than the groups of corn (Landrace, conventional or GM hybrids) used, emphasizing the importance of the management and fertility from the soil to the symbiosis.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, *Zea mays*, Soil management, Phosphorus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa com as áreas de coleta de milho Crioulo, Convencionais e Transgênicos na região Oeste de Santa Catarina.....	34
Figura 2. Altura (A), diâmetro do colmo (B), massa seca da parte aérea (MSPA) (C), massa seca da raiz (MSR) (D), massa seca total (MST) (E) e relação MSPA/MSR (F) em diferentes genótipos de milho crioulo e híbridos mais cultivados no Oeste de Santa Catarina.....	40
Figura 3. Teor de fósforo (A) e acúmulo de fósforo (B) em diferentes genótipos de milho crioulo e híbridos mais cultivados no Oeste de Santa Catarina	41
Figura 4. Colonização por arbúsculos (A), vesículas (B) e colonização total (C) em diferentes genótipos de milho crioulo e híbrido mais cultivados no Oeste de Santa Catarina.....	42
Figura 5. Percentagens de arbúsculos (A), vesículas (B), colonização radicular total (C), em milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) em lavouras no Oeste de Santa Catarina. Ano agrícola de 2015/2016.....	44
Figura 6. Percentagens de arbúsculos (A), vesículas (B), colonização radicular total (C), em milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) em lavouras no Oeste de Santa Catarina. Ano agrícola de 2016/2017.....	45
Figura 7. Análise de Redundância (RDA) das variáveis de colonização micorrízica e das variáveis físico-químicas do solo dos anos agrícolas 2015/16 e 2016/17 em lavouras no Oeste de Santa Catarina.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Genótipos de milhos crioulos e híbridos convencionais mais cultivados no Oeste de Santa Catarina, utilizados no experimento.....	32
Tabela 2. Áreas de amostragem de milho no Oeste de Santa Catarina (TR: Transgênico, CO: Convencional, CR: Crioulo). Safra 2015/16...	35
Tabela 3. Áreas de amostragem de milho no Oeste de Santa Catarina (TR: Transgênico, CO: Convencional, CR: Crioulo). Safra 2016/17....	36
Tabela 4. Teor de P foliar (g kg^{-1}) em milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) em lavouras no Oeste de Santa Catarina.....	46
Tabela 5. Valores médios de atributos físico-químicos do solo de lavouras com milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) no Oeste de Santa Catarina em dois anos agrícolas consecutivos.....	47

APÊNDICES

Figura A1. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São José do Cedro, antecedentes a coleta das amostras da safra 2015/16.....	68
Figura A2. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São Miguel do Oeste, antecedentes a coleta das amostras da safra 2015/16.....	68
Figura A3. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São José do Cedro, antecedentes a coleta das amostras da safra 2016/17.....	69
Figura A4. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São Miguel do Oeste, antecedentes a coleta das amostras da safra 2016/17.....	69
Tabela A1. Médias de precipitação acumulada e temperatura média durante os 90 dias antecedentes a coleta das amostras.....	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 IMPORTÂNCIA DO MILHO	23
2.2 MILHO CRIULOLO NO OESTE DE SANTA CATARINA	24
2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DO MILHO.....	24
2.4 MILHO GENETICAMENTE MODIFICADO E SEUS IMPACTOS SOBRE A BIODIVERSIDADE	25
2.5 ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA EM MILHO	26
2.6 MELHORAMENTO GENÉTICO E ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA EM MILHO	27
2.7 CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS, DIVERSIDADE DE PLANTAS E A ASSOCIAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR	28
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	30
3.1 HIPÓTESES.....	30
3.2 OBJETIVO GERAL.....	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1. ENSAIO I	31
4.1.1 Material biológico utilizado e implantação do experimento	31
4.1.2 Coleta do experimento	32
4.1.3 Análise química do tecido vegetal	32
4.1.4 Contagem de esporos de FMA e colonização micorrízica	33
4.1.5 Análises estatísticas	33
4.2. ENSAIO II	33
4.2.1 Determinação da colonização micorrízica	37
4.2.2 Determinação de teores de fósforo no tecido vegetal.....	37
4.2.3 Determinação de atributos físico-químicos do solo	38
4.2.4 Análises estatísticas	38
5. RESULTADOS	39
5.1. ENSAIO I	39
5.2. ENSAIO II.....	43
6. DISCUSSÃO	50
7. CONCLUSÕES.....	54
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
9. REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICES	68

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado uma das culturas alimentares mais consumidas no mundo, juntamente com o trigo e o arroz (SHIFERAW et al., 2011). Em Santa Catarina, o grão possui grande importância social e econômica (CONAB, 2017a), sendo produzido na sua maioria por pequenos e médios agricultores, predominantemente no Oeste Catarinense, e destinado, principalmente, para produção de ração animal (EPAGRI, 2016). A região Oeste de Santa Catarina possui grande diversidade de populações de milho crioulo, que continuam sendo cultivados por agricultores familiares (COSTA et al., 2016).

A Revolução Verde teve um alto impacto para a agricultura moderna, fazendo a substituição das pequenas lavouras com alta diversificação vegetal para extensas áreas de monocultivos. Essa modificação se fez necessária para implantação dos pacotes tecnológicos como mecanização e uso de herbicidas seletivos (MACHADO et al., 2014). Ainda nesse contexto, o melhoramento genético buscando variedades altamente produtivas, induziu o produtor a utilizar grandes quantidades de adubos químicos. Além disso, também causou o aumento do uso de agrotóxicos, devido à maior suscetibilidade das plantas a pragas e doenças, ocasionada pela baixa variabilidade genética (MACHADO et al., 2008). O resultado deste pacote tecnológico foi a substituição das variedades crioulas adaptadas aos agroecossistemas locais por variedades híbridas e transgênicas, ocasionando a perda de valores culturais, trazendo sérios danos às comunidades locais.

O milho associa-se com diferentes microrganismos, dentre eles os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Esses fungos são responsáveis pelo aumento da absorção de nutrientes e água pelas plantas (NEWSHAM et al., 1995), sendo importantes para nutrientes pouco móveis no solo, como o fósforo (P). Também possuem papel fundamental para a estruturação dos solos em função da imensa quantidade de hifas produzidas e pela exsudação de glomalina (BEDINI et al., 2009). Essa associação com os FMA pode ser influenciada pelos genótipos de plantas, assim como pelas características edafoclimáticas presentes.

Trabalhos têm destacados indícios de que variedades melhoradas possam estar se associando menos com FMA (AQUINO, 2003; MORALES, 2016). Kaeppler et al. (2000) em estudo realizado avaliando cultivares de milho quanto ao crescimento em solo com baixo teor de P e a capacidade de resposta aos FMA, verificaram diferenças

entre linhagens quanto a resposta aos FMA, sugerindo que a seleção realizada no melhoramento vegetal pode estar desenvolvendo cultivares menos responsivas a esses fungos.

Os manejos praticados nos sistemas de cultivo de milho crioulo, convencional e transgênicos são diferentes entre si. Geralmente quanto maior o potencial de produção de um genótipo, maior o aporte de nutrientes ao mesmo. Também são utilizados entre os sistemas de cultivo diferentes métodos de controle de espécies espontâneas, densidade de cultivo, revolvimento ou não do solo, tipo de adubação (química, orgânica ou vegetal). Esses diferentes manejos empregados nos diferentes sistemas de cultivo, assim como os genótipos presentes podem interferir na simbiose micorrízica. No solo os FMA podem estar sujeitos à interferências dos fatores edafoclimáticos como temperatura, umidade, aeração do solo, matéria orgânica, fósforo (P), nitrogênio (N) e pH (HENTZ et al., 2006; MOREIRA et al, 2007; WALTER et al., 2016).

Buscando elucidar algumas das questões citadas acima, realizou-se um estudo, em casa de vegetação, buscando verificar a resposta de genótipos de milho crioulo e híbrido mais cultivados no Oeste catarinense sobre a simbiose micorrízica (Estudo I). Também, no presente trabalho avaliou-se a simbiose micorrízica em lavouras de milho crioulo, convencional e transgênicos, verificando a influência dos diferentes manejos sobre essa associação (Estudo II).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do milho

O milho (*Zea mays* L) é considerado uma das culturas alimentares mais importantes do mundo, pois juntamente com o arroz e o trigo, fornece pelo menos 30% das calorias para mais de 4,5 bilhões de pessoas em 94 países em desenvolvimento (SHIFERAW et al., 2011). O milho representa 42% de todos os grãos gerados, seguido pelo trigo (30%) e pelo arroz (18%) (CONAB, 2017a). Globalmente, foram colhidas 1,075 bilhões de toneladas do grão na safra de 2016/2017 (USDA, 2017).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho com uma produção de 98,5 milhões de toneladas na safra de 2016/2017. É o segundo maior exportador e o quarto maior consumidor do grão, com um consumo na safra de 2016/2017 de 60,5 milhões de toneladas (USDA, 2017).

No mercado interno, o milho é usado na produção de alimentos para consumo humano, transformado em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais. No entanto, a maior parte, cerca de 70% da produção do milho no Brasil é destinada à indústria de rações para animais (MAPA, 2016). Além desses usos, o milho também pode ser utilizado para produção de biocombustíveis (CONAB, 2017a).

Cultivado em diferentes sistemas produtivos, desde parcelas para subsistência com baixa utilização de insumos, até lavouras com alto nível de insumos agrícolas, o milho é semeado principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. O cultivo do milho ocorre ao longo de um amplo leque de altitudes e latitudes, sob temperaturas variadas, e em diferentes condições edáficas (SHIFERAW et al., 2011).

Em Santa Catarina, o milho tem grande importância social e econômica, ocupando uma área de cultivo estimada em 400 mil ha, e sendo produzido principalmente por pequenos e médios agricultores. A produção é de 3,3 milhões de toneladas e o estado teve a maior produtividade média a nível nacional na safra 2016/2017 (CONAB, 2017b). O grão é produzido predominantemente no Oeste Catarinense e destinado, principalmente, à produção de ração para suínos, aves e bovinos de leite (EPAGRI, 2016; CONAB, 2017a).

2.2 Milho crioulo no Oeste de Santa Catarina

A região Oeste de Santa Catarina possui grande diversidade de populações de milho crioulo, que continuam sendo cultivados por agricultores familiares (COSTA et al., 2016). O milho crioulo traz como principal vantagem a autonomia dos agricultores ao produzir suas próprias sementes. Esses genótipos crioulos, por estarem por muitos anos sendo produzidos via polinização aberta, possuem grande importância em programas de melhoramento genético, devido a alta variabilidade genética e a rusticidade (KELEMAN et al., 2009; SILVEIRA et al., 2015).

No Extremo Oeste Catarinense foi constatada a presença de 1513 populações de milho crioulo, das quais 1078 foram milho pipoca, 337 milho comum, 61 milho doce, e 37 milho para farinha (COSTA et al., 2016). Esses autores demonstraram a existência de um microcentro de diversidade genética de milho crioulo na região.

Esses genótipos são utilizados comumente dentro das próprias propriedades, como fonte de alimento para os agricultores e animais, elaboração de medicamentos e artesanatos (KIST et al., 2010; KUHNNEN et al., 2012; COSTA et al., 2016).

2.3 Melhoramento Genético do Milho

O milho (*Zea mays ssp. mays* L.) foi domesticado há cerca de nove mil anos em um vale no Centro-Sul do México (MATSUOKA et al., 2002). Após esse evento ocorreu a difusão da espécie pela América. A adaptação às características edafoclimáticas de cada região e a seleção dos agricultores levou à criação de centenas de novos genótipos nos últimos 500 anos (DUBREUIL et al., 2006).

Os programas atuais de melhoramento genético de milho buscam o melhoramento de diversos caracteres para um melhor desempenho das variedades e híbridos, e as principais características almejadas são: resistência a certas doenças, ciclo precoce, altura de planta e inserção de espiga principal mais uniforme para facilitar o manejo, melhor qualidade de grãos, rendimento, melhoramento do sistema radicular e resistência de colmo (BISPO et al., 2007). No entanto, dá-se pouca importância a características de adaptabilidade das linhagens crioulas, o que se reflete em uma redução da variabilidade, o que deixa as cultivares mais

susceptíveis a variações climáticas e a pragas e doenças locais (MACHADO, 2014; VON DER WEID e SOARES, 1998).

Os programas de melhoramento também têm focado em características morfológicas do sistema radicular, importantes para aumentar a eficiência na aquisição de água e nutrientes no solo (LYNCH e BROWN, 2012). Modificações na exsudação de compostos orgânicos e/ou da associação com microrganismos simbióticos também podem ajudar a planta a converter nutrientes em estado não utilizável em absorvível (RENGE e MARSCHNER, 2012; LYNCH, 2007), mas esses aspectos não são mencionados nos programas de melhoramento.

2.4 Milho geneticamente modificado e seus impactos sobre a biodiversidade

Na safra 2008/2009 liberou-se no Brasil o cultivo de híbridos de milho geneticamente modificado. As plantas transgênicas, modificadas por engenharia genética e cultivadas atualmente apresentam, principalmente, duas características: produção de toxinas contra insetos herbívoros e resistência a herbicidas (ISAAA, 2014).

Atualmente, os campos de milho crioulo vêm sendo ameaçados pelos cultivos de variedades híbridas e transgênicas, visto o grande risco de contaminação das sementes crioulas via polinização cruzada. A Instrução Normativa n.º 4 da CTNBIO determina uma distância mínima de 500 metros entre milhos transgênicos e não transgênicos para se realizar o plantio, mas isso nem sempre é possível, e muitas vezes é insuficiente para evitar o cruzamento (JANTARA e SILVA, 2012).

Esses genótipos transgênicos podem trazer diversos problemas ambientais. Estudo realizado por Silva et al. (2016), avaliando os efeitos da introgressão em milho crioulo, de genes de híbridos transgênicos e convencional sobre fungos e bactérias endofíticas, constatou que os transgenes afetaram a diversidade estrutural de fungos endofíticos do milho variedade Rosado e que os efeitos diretos sobre as plantas ainda devem ser estudados.

Estudos presentes na literatura têm evidenciado efeitos das modificações genéticas sobre a simbiose micorrízica arbuscular em plantas de milho. Na literatura há tanto trabalhos demonstrando efeitos negativos sobre a simbiose micorrízica (CHEEK et al., 2012; CHEEK et al., 2014), quanto estudos que não encontraram efeitos prejudiciais sobre essa simbiose (CHEEK et al., 2011; CHEEK et al., 2013; ZENG et al., 2014; TAVARES et al., 2017). Cheek et al. (2015), utilizando

pirosequenciamento 454 da região 28S, observaram que a colonização micorrízica total e diversidade da comunidade de FMA em raízes não diferiram entre milho Bt e não Bt. No entanto, constatou-se que a heterogeneidade espacial no campo teve um efeito mais significativo que os tipos de milho sobre as comunidades de FMA nas raízes.

Considerando as diversas mudanças genéticas dentro de uma planta quando se realiza a transgenia (AGAPITO-TENFEN et al., 2013), modificações que causem alteração dos compostos sinalizadores exsudados pelas plantas podem prejudicar diversos organismos no solo, assim como a simbiose com FMA (AKIYAMA et al., 2005; BAIS et al., 2006).

2.5 Associação micorrízica em Milho

O milho, como a maioria das plantas, faz associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Os FMA possuem reprodução assexuada e dependem exclusivamente da planta simbiote para crescer e se reproduzir, o que os caracteriza como biotróficos obrigatórios (SOUZA et al., 2010). A associação é do tipo mutualística, na qual a planta supre o fungo com energia para crescimento e manutenção via produtos fotossintéticos, e o fungo auxilia a planta na absorção de nutrientes (principalmente P), amenização de estresse hídrico, no controle de patógenos, dentre outros (HWANG et al., 1992; NEWSHAM et al., 1995; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Além disso, os FMA contribuem para a estruturação e estabilidade de agregados do solo em decorrência da grande quantidade de hifas e glomalina produzidas (JASTROW et al., 1998; ZHU e MILLER, 2003; BERBARA et al., 2006; BEDINI et al., 2009).

A simbiose entre a planta e os FMA inicia-se pela troca de sinais entre os simbiotes. Primeiramente, a planta realiza a exsudação de certos compostos que estimulam a germinação dos esporos e a ramificação das hifas dos FMA (LAMBAIS e RAMOS, 2010). Após a ramificação, as hifas entram em contato com as raízes, formam uma estrutura diferenciada chamada hifopódio, e penetram através da epiderme. Dentro da raiz o fungo pode crescer tanto inter como intra celularmente no tecido cortical. Uma vez dentro das células, as hifas podem se diferenciar em arbúsculos, que são estruturas muito importantes, sendo através deles que ocorre a troca de metabólitos/nutrientes entre os simbiotes (KIRIACHEK et al., 2009; LAMBAIS e RAMOS, 2010).

2.6 Melhoramento genético e associação micorrízica em milho

Estudos têm demonstrado que a colonização micorrízica em milho híbrido muitas vezes é menor que em variedades crioulas, o que pode ser consequência do estreitamento da base genética das cultivares, produto dos intensos processos de melhoramento genético. Picard (2008) em estudo avaliando um híbrido e duas linhagens parentais, verificou que cada genótipo de milho estimulou a população de FMA de uma forma diferente. Morales (2016), comparando um milho crioulo (Pixurum), um transgênico (DKB 240 VT pro), e sua isolinha (DKB 240), todos inoculados com *Rhizophagus clarus* e *Gigaspora margarita*, verificou que no tratamento com *R. clarus* o milho crioulo apresentou colonização micorrízica superior aos demais genótipos.

Algo que pode explicar problemas relacionados a simbiose é o fato do melhoramento genético atual não buscar o aumento da colonização micorrízica nos novos genótipos. O processo de seleção pode gerar variedades com diferentes exigências nutricionais e capacidade de absorção, e assim, alterar as relações com FMA (TRINDADE et al., 2001).

Características morfológicas no sistema radicular são variáveis geneticamente dentro de espécies, sendo que os genótipos com maior desenvolvimento de raízes laterais e pêlos radiculares possuem maior capacidade de adquirir P e manter o crescimento (ZHU e LYNCH, 2004; LYNCH, 2007). Os pêlos radiculares em plantas cultivadas podem contribuir com até 77% da área total de raiz, aumentando o volume de solo explorado (PARKER et al., 2000). As variações entre espécies e variedades estão relacionadas ao ambiente onde evoluíram (HILL et al., 2006).

Aquino (2003), avaliando a associação micorrízica arbuscular em diferentes genótipos de milho, verificou mudanças qualitativas e quantitativas na composição dos FMA, com observação da existência de associações preferenciais entre genótipos, assim como entre híbridos e seus parentais. Oliveira et al. (2009) em trabalho avaliando a interação e diversidade genética de FMA em genótipos de milhos eficientes e não eficientes na absorção de P, verificaram que os genótipos de milho tiveram uma maior influência sobre a comunidade micorrízica na rizosfera do que o nível de P no solo. Analisando os perfis de DGGE de raízes de milho, verificaram bandas que estavam presentes apenas nos genótipos eficientes na absorção de P, sugerindo que alguns grupos micorrízicos foram estimulados por estes genótipos.

Um estudo desenvolvido por Sasvári e Posta (2010) demonstrou que a densidade de cultivo possui influência sobre a composição filogenética dos FMA colonizando raízes de milho. Segundo esses autores, diferentes condições metabólicas ou de manejo podem estar influenciando a diversidade de FMA associados às raízes, assim como, a comunidade de plantas (cultura de interesse e espontâneas presentes) (HENDRIX et al., 1995).

Atualmente não existem informações suficientes de como as características buscadas no melhoramento genético moderno afetam a relação entre a planta e os FMA, sendo necessários estudos para avaliar melhor essas relações.

2.7 Condições edafoclimáticas, diversidade de plantas e a associação micorrízica arbuscular

No solo, os FMA podem estar sujeitos à interferências dos fatores edafoclimáticos, como temperatura, umidade, aeração do solo, matéria orgânica, fósforo (P), nitrogênio (N) e pH (HENTZ et al., 2006; MOREIRA et al., 2007; WALTER et al., 2016). Vieira et al. (2017) evidenciaram que o pH do solo, e os teores de matéria orgânica, alumínio e ferro foram os principais fatores que influenciaram a presença de FMA em áreas de mineração de ferro, floresta sazonal semidecidual, Canga e Cerrado. O estresse hídrico pode alterar a esporulação e a abundância de espécies de FMA (CAPRONI et al., 2007; GOMIDE et al., 2014), podendo também, influenciar a infectividade e a colonização das raízes (SIEVERDING, 1991; TATAW et al., 2016). Vieira et al. (2017) constataram que a esporulação dos FMA foi maior nos períodos secos e menor nos períodos mais chuvosos. No entanto, segundo Miranda et al. (2010), essas diferenças podem variar em função das diferenças na estrutura da vegetação, aos picos vegetativos, reprodutivos e fotossintéticos das comunidades de plantas, bem como as diferentes estratégias de sobrevivência dos FMAs nos ecossistemas. O P no solo também pode afetar a eficiência da associação de FMA com as plantas, sendo que doses baixas (5-15 kg P ha⁻¹) em solos pobres proporcionam incremento de hifas e esporos. No entanto, doses elevadas de P podem causar um decréscimo de hifas e esporos (THOMSON et al., 1992).

A comunidade de plantas também é um fator importante, que pode alterar a comunidade de FMA de um determinado local

(SANDERS e FITTER, 1992). Stinson et al. (2006) verificaram que a presença de *Alliaria petiolata* reduziu a colonização por FMA em *Acer saccharum*, *A. rubrum*, e *Faxinus americana*, em comparação as solos com somente espécies nativas. A presença de plantas que tem um efeito negativo sobre FMA pode diminuir o potencial de inóculo e a colonização micorrízica sobre as plantas de uma área (BAINARD et al., 2009).

Sistemas de manejo intensivo como monoculturas modificam a comunidade de FMA e a diversidade desses fungos tende a diminuir à medida que aumenta a severidade da modificação (SILVEIRA, 1998). Em estudo realizado por Figueira da Silva et al. (2016) verificou-se que a atividade agrícola diminuiu a esporulação e modificou a composição de espécies de FMA, em comparação com sistemas florestais. Além disso, verificou-se que a cobertura vegetal afetou a abundância de esporos de FMA nas áreas avaliadas.

Um bom conhecimento das estratégias utilizadas pelos FMAs em diferentes sistemas de cultivo é importante na busca de soluções para tornar mais sustentável a produção de alimentos.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

3.1 Hipóteses

Os milhos híbridos diferem dos milhos crioulos quanto ao desenvolvimento da simbiose micorrízica arbuscular.

Variáveis físico-químicas do solo influenciam a associação micorrízica de FMA com genótipos de milho.

3.2 Objetivo geral

Avaliar a associação micorrízica arbuscular em genótipos de milho cultivados no Oeste Catarinense e os efeitos dos atributos físico-químicos do solo sobre a simbiose.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Ensaio I

4.1.1 Material biológico utilizado e implantação do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia da UFSC, utilizando-se solo da Fazenda Ressacada (Centro de Ciências Agrárias – UFSC) que contém uma comunidade endógena de Fungos Micorrízicos Arbusculares (6124 esporos 50cm⁻³). O solo da área é classificado como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Típico, apresentando as seguintes características físico-químicas: matéria orgânica 45 g dm⁻³, pH em água 4,73; acidez potencial 4,78 (pelo índice do SMP); P resina 6,8 mg kg⁻¹; K 16,0 mg kg⁻¹ (TEDESCO et al., 1995). A correção do pH do solo para atingir pH 5,7 foi realizado com 8,5 g de calcário dolomítico (PRNT=70%; CaO=24,0%; MgO=17,1%) por kg de solo.

O solo foi homogeneizado e, posteriormente, acondicionado em vasos com capacidade de 5L para em seguida se realizar a semeadura do milho. As sementes de milho foram desinfetadas com álcool 70% (30 segundos), hipoclorito de sódio a 2% (2 minutos) e enxaguadas com água esterilizada. Foram semeadas três sementes de milho e uma semana após a emergência foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta por vaso.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 10 diferentes tipos de milho, sendo cinco milhos crioulos e cinco híbridos (Tabela 1). Houve cinco repetições por tratamento, totalizando 50 unidades experimentais. Efetuou-se irrigações periódicas. A adubação foi realizada com 0,42g/vaso de fósforo e 2,83g/vaso de potássio, divididos em duas aplicações (na semeadura e aos 30 dias), 0,45 g de N por vaso, dividido em três aplicações (na semeadura, aos 20 e 40 dias) e aplicação de solução de Fe-EDTA e micronutrientes (HOAGLAND e ARNON, 1950), fornecendo por vaso: FeSO₄.H₂O (20mg); H₃BO₃ (2,3mg); MnCl₂.4H₂O (1,45mg); ZnCl₂ (0,08mg); CuCl₂ (0,03mg) e H₂MoO₄.H₂O (0,016mg).

Os genótipos utilizados no experimento foram selecionados de acordo com a proporção de plantio na região Oeste Catarinense, sendo os mais cultivados da categoria.

Tabela 1. Genótipos de milhos crioulos e híbridos convencionais mais cultivados no Oeste de Santa Catarina, utilizados no experimento.

Genótipos	
Crioulos	Híbridos convencionais
Taquara	Santa Helena SHS 5050
Pixurum 07	Morgan 20A55
Branco Precoce	Santa Helena SHS 5070
Língua-de-papagaio	Prezzotto PRE 22D11
Amarelão	Catarina SCS 155

4.1.2 Coleta do experimento

Aos 60 dias, foi realizada a coleta para avaliação da altura, diâmetro do colmo, matéria seca da parte aérea, matéria seca de raízes, colonização micorrízica por arbúsculos, vesículas e total e número de esporos de FMA no solo. Para análises micorrízicas cerca de 1g de raízes foram lavadas em água corrente. O tecido vegetal foi seco em estufa a 60°C para posterior determinação da massa seca acumulada e P (TEDESCO et al., 1995).

4.1.3 Análise química do tecido vegetal

As amostras de parte aérea e raízes, depois de secas em estufa a 60 °C e moídas, foram submetidas à digestão sulfúrica segundo Tedesco et al. (1995), com posterior determinação por colorimetria segundo método de Murphy e Riley (1962). As quantidades de P acumulado nos tecidos vegetais foram calculadas multiplicando-se o teor destes elementos na parte aérea e raízes pela respectiva massa seca produzida pela planta.

4.1.4 Contagem de esporos de FMA e colonização micorrízica

Os esporos foram extraídos de 50cm³ de solo por meio de peneiramento úmido seguido de centrifugação em gradiente de sacarose (GERDEMANN e NICOLSON, 1963) e a contagem foi realizada em placas caneladas utilizando um estereomicroscópio.

Para colonização micorrízica, amostras de raízes finas, retiradas de cada planta, foram lavadas em água corrente, clareadas em KOH 10% a 80 °C por 60 min, acidificadas em HCl 5,0 % e coradas com azul de Tripán (KOSKE e GEMMA, 1989). A porcentagem de colonização foi quantificada pelo método de interseções em lâminas (McGONIGLE, et al., 1990): fragmentos de aproximadamente 1cm das raízes finas coradas foram colocadas sobre lâminas de microscopia em glicerina, posteriormente observadas na ampliação 200x. Foram examinadas 100 interseções contando-se as seguintes categorias; arbúsculos, vesículas, e colonização total. Campos colonizados foram definidos pela presença de arbúsculos, vesículas ou hifas.

4.1.5 Análises estatísticas

Todos os dados foram submetidos à análise de homogeneidade de variâncias utilizando-se o teste de Bartlett. Comprovando-se a homogeneidade de variâncias procedeu-se à análise de variância (ANOVA) ao teste de TUKEY a 5% de probabilidade de erro para separação das médias. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico R. Gráficos com barra de erro-padrão da média foram gerados com o Software Sigma-Plot v. 12.5 (Systat Corp., San Jose, USA).

4.2. Ensaio II

As coletas de dados foram realizadas na região Oeste do Estado de Santa Catarina, nos municípios de Anchieta, Bandeirante, Barra Bonita, Palma Sola, Romelândia e São Miguel do Oeste (Figura 1).

A região possui clima Cfb, segundo Köppen, que corresponde a clima temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco. A umidade relativa média do ar varia de 73 a 82 % (THOMÉ et al., 1999).

Foram realizadas coletas em 15 propriedades, sendo cinco com cultivo de milho crioulo, cinco com convencional (milho variedade ou híbridos, não transgênicos) e cinco com transgênicos, em dois anos consecutivos (Fevereiro de 2016 e Janeiro de 2017) (Figura 1). No período da coleta a cultura do milho encontrava-se no estágio reprodutivo (70 a 90 dias após a semeadura), período no qual as plantas estão em plena simbiose com Fungos Micorrízicos Arbusculares (GARCIA, 2012; ANDRADE, 2013) (Tabelas 2 e 3).

Dados meteorológicos de temperatura do ar e pluviosidade foram obtidos no site da AgriTempo “www.agritempo.gov.br”, estação de São Miguel do Oeste e São José do Cedro (Figura A1 a A4 e Tabela A1 nos Apêndices).

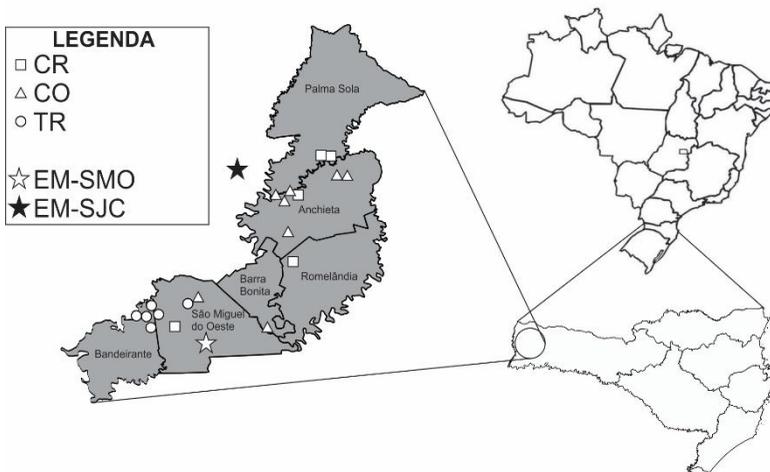


Figura 1. Mapa com as áreas de coleta de milho Crioulo, Convencionais e Transgênicos na região Oeste de Santa Catarina. TR: Transgênico, CO: Convencional, CR: Crioulo, EM-SMO: Estação meteorológica de São Miguel do Oeste, EM-SJC: Estação meteorológica de São José do Cedro.

Tabela 2. Áreas de amostragem de milho no Oeste de Santa Catarina (TR: Transgênico, CO: Convencional, CR: Crioulo). Safra 2015/16.

Código	Genótipo	Município	Coordenadas	Adubação	Quantidade aprox. de adubo (kg/ha)	Tipo de solo
TR1	Biomatrix 3061	Bandeirantes	S26°42'6.33" W53°36'0.12"	09-33-12/Ureia	300/100	Franco Argilo-arenoso
TR2	Biomatrix 3061	Bandeirantes	S26°42'40.6" W53°36'21.9"	09-33-12/Ureia	300/100	Franco Argilo-arenoso
TR3	Agroceres 5011	Bandeirantes	S26°42'33.2" W53°37'20.8"	5-25-25	200	Franco Argilo-arenoso
TR4	Biomatrix 3061	Bandeirantes	S26°43'17.7" W53°36'0.12"	09-33-12	300	Franco Argilo-arenoso
TR5	Syngenta Maximus TLTG Vip.32	São Miguel do Oeste	S26°41'29.7" W53°32'21.4"	09-33-12	300	Franco Argilo-arenoso
CO1	Catarina SCS 155	Anchieta	S26°31'36.8" W53°23'05.7"	4-14-8/Ureia.	300/100	Franco Argilo-arenoso
CO2	Catarina SCS 155	Anchieta	26°29'06.6" W 53°18'02"	8-20-20/Ureia	300/100	Franco Argilo-arenoso
CO3	Catarina SCS 155	Anchieta	S26°29'08.1" W53°17'46.5"	8-20-20/Ureia	300/100	Franco Argilo-arenoso
CO4	Catarina SCS 156	Barra Bonita	S26°43'36.7" W53°24'47.0"	9-33-12/Ureia	300/100	Franco Argilo-arenoso
CO5	Agromen 20A55	Anchieta	S26°34'34.5" W53°22'45.9"	8-20-20/Ureia	300/100	Franco Argilo-arenoso
CR1	Lingua-de-papagaio; palha roxa	Anchieta	S26°27'14.3" W53°19'35.6"	Esterco de frango, suínos, bovinos	5000	Franco Argiloso
CR2	Lingua de papagaio; palha roxa	Anchieta	S26°27'17.7" W53°19'29.8"	Esterco de frango, suínos, bovinos	5000	Argilo Arenoso
CR3	Amarelão; Maia	Romelândia	S26°37'24.7" W53°22'15.9"	Esterco de frango	5000	Argilo Arenoso
CR4	Amarelão	Anchieta	S26°31'2.41" W53°22'8.39"	Esterco de frango, suínos, bovinos	5000	Franco Argilo-arenoso
CR5	Taquara	São Miguel do Oeste	S26°43'37.9" W53°33'39.1"	Adubo verde, rotação com Aveia.	-	Franco Argilo-arenoso

Tabela 3. Áreas de amostragem de milho no Oeste de Santa Catarina (TR: Transgênico, CO: Convencional, CR: Crioulo). Safra 2016/17

Código	Genótipo	Município	Coordenadas	Adubação	Quantidade aprox. de adubo (kg/ha)	Tipo de solo
TR1	Biomatrix 3061	Bandeirantes	S26°42'33.7" W53°35'45.7"	8-20- 20/Ureia	300/200	Franco Argilo-arenoso
TR2	Biomatrix 3061	Bandeirantes	S26°42'40.6" W53°36'21.9"	8-20- 20/Ureia	300/200	Franco Argilo-arenoso
TR3	Biomatrix 812 Pró 2	Bandeirantes	S26°42'33.2" W53°37'20.8"	Esterco Peru/9-33-12/Uréia	150/250/250	Franco Argilo-arenoso
TR4	Biomatrix 812 Pró 2	Bandeirantes	S26°43'17.7" W53°36'0.12"	09-33-12/Uréia	400/400	Franco Argilo-arenoso
TR5	Limagrain 3040	São Miguel do Oeste	S26°41'29.7" W53°32'21.4"	09-33-12/Uréia	250/250	Franco Argilo-arenoso
CO1	Catarina SCS 155	Anchieta	S26°31'36.8" W53°23'05.7"	Esterco de frango/Uréia	320/100	Franco Argilo-arenoso
CO2	Prezzotto PRE 22D11	Anchieta	S26°31'02.6" W53°22'35.1"	09-33-12/Uréia	200/200	Franco Argilo-arenoso
CO3	Catarina SCS 155	Anchieta	S26°31'0.8" W53°23'58.3"	09-33-12/Uréia	200/200	Franco Argilo-arenoso
CO4	Prezzotto PRE 22D11	São Miguel do Oeste	S26°40'47.8" W53°31'23.3"	8-20-20	100	Franco Argilo-arenoso
CO5	Santa Helena 5070	Anchieta	S26°34'34.5" W53°22'45.9"	9-33-12/Ureia	200/200	Franco Argilo-arenoso
CR1	Língua-de-papagaio; palha roxa	Anchieta	S26°27'14.3" W53°19'35.6"	Uréia	100	Franco Argiloso
CR2	Língua-de-papagaio; palha roxa	Anchieta	S26°27'17.7" W53°19'29.8"	Uréia	100	Argilo Arenoso
CR3	Amarelão; Maia	Romelândia	S26°37'24.7" W53°22'15.9"	Uréia	50	Argilo Arenoso
CR4	Amarelão	Anchieta	S26°31'2.41" W53°22'8.39"	9-33-12/Uréia	150/150	Franco Argilo-arenoso
CR5	Taquara	São Miguel do Oeste	S26°43'37.9" W53°33'39.1"	8-20-20/ Adubo verde (aveia)	100	Franco Argilo-arenoso

Em cada propriedade, coletaram-se amostras em cinco pontos, aleatoriamente, retirando-se cerca de 500g de solo próximo à raiz, a uma profundidade de 0 a 20 cm, para análises físico-químicas. Em cada ponto de amostragem foram tomadas amostras indeformadas na camada de 0 a 10 cm de profundidade, para avaliar a densidade aparente do solo. Também coletaram-se raízes finas de uma planta de milho por ponto de amostragem para determinar a colonização micorrízica. As raízes foram colocadas em sacos plásticos, transportadas em caixas térmicas com gelo e armazenadas a 4 °C até o processamento no laboratório. Por último, duas folhas (uma acima e uma abaixo da espiga) de cada uma das plantas de milho correspondentes foram coletadas e acondicionadas em sacos de papel, para determinar os teores de fósforo do tecido vegetal.

4.2.1 Determinação da colonização micorrízica

Para colonização micorrízica, amostras de raízes finas, retiradas de cada planta, foram lavadas em água corrente, clareadas em KOH 10% a 80 °C por 60 min, acidificadas em HCl 5,0 % e coradas com azul de tripan (KOSKE e GEMMA, 1989). A percentagem de colonização foi quantificada pelo método de interseções em lâminas (McGONIGLE, et al., 1990): as raízes finas coradas, cortadas em fragmentos de 1,0 cm, foram colocadas em glicerina sob lâminas de microscopia, sendo posteriormente observadas na ampliação 200x. Foram examinadas 100 interseções contando-se as seguintes categorias; arbúsculos, vesículas, e colonização total. Campos colonizados foram definidos pela presença de arbúsculos, vesículas ou hifas.

4.2.2 Determinação de teores de fósforo no tecido vegetal

O teor de fósforo nas folhas de milho foi determinado de acordo com Tedesco et al. (1995). Primeiramente as folhas foram secas em estufa de ventilação forçada a 60 °C, até atingir massa constante, moídas e submetidas a digestão em H₂SO₄ e H₂O₂. Após, o teor de P do extrato foi determinado por colorimetria, segundo Murphy e Riley (1962).

4.2.3 Determinação de atributos físico-químicos do solo

A caracterização do solo foi realizada segundo os métodos propostos por Tedesco et al. (1995) e EMBRAPA (1997), no laboratório de solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) de Chapecó. Realizaram-se análise de $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$; Carbono Orgânico (Walkley–Black); Potássio e Fósforo disponíveis (Mehlich I); Alumínio, Cálcio e Magnésio trocáveis por extração em solução KCl (1 mol L^{-1}). A $\text{CTC}_{(\text{pH } 7,0)}$ foi determinada pela soma de cátions $(\text{Ca}+\text{Mg}+(\text{H}+\text{Al})+\text{K})$.

No Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da Universidade Federal de Santa Catarina realizou-se a determinação da densidade aparente pelo método do cilindro e a determinação do P-resina pela extração segundo Tedesco (1995), seguido pela determinação via colorimetria proposto por Murphy e Riley (1964).

4.2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico R. Todos os dados foram submetidos à análise de homogeneidade de variâncias utilizando-se o teste de Bartlett. Atestando-se a homogeneidade de variâncias procedeu-se as análises de variância (ANOVA) e teste de TUKEY a 5% de probabilidade de erro para separação das médias. Também foram realizadas Correlações de Pearson ($p \leq 0,05$) entre as variáveis micorrízicas e físico-químicas. Gráficos com barra de erro-padrão da média foram gerados com o Software Sigma-Plot v. 12.5 (Systat Corp., San Jose, USA).

Uma análise de Redundância (RDA) foi realizada entre as variáveis micorrízicas (colonização por arbúsculos, vesículas e total) e os atributos físico-químicos do solo para os tipos de milho, utilizando-se o pacote Vegan (OKSANEN et al., 2013). Aplicou-se transformação de $\log(x+1)$ para normalização dos dados antes de rodar a RDA. A RDA é um método que combina regressão e análise de componentes principais (PCA) para a análise conjunta de variáveis bióticas e abióticas. As variáveis do gráfico da RDA foram selecionadas utilizando o comando “vif” do pacote Vegan (OKSANEN et al., 2013).

5. RESULTADOS

5.1. Ensaio I

Os tratamentos afetaram de forma distinta as variáveis de crescimento avaliadas. Enquanto a altura e o diâmetro do colmo não diferiram entre genótipos, a matéria seca da parte aérea (MSPA) do genótipo Morgan 20A55 apresentou maior acúmulo que o Branco Precoce. Os demais genótipos apresentaram valores intermediários não diferenciando-se entre si ou dos dois genótipos citados, para MSPA. Para massa seca da raiz (MSR), os genótipos com maior acúmulo foram SHS 5050, Morgan 20A55 e Língua-de-papagaio, em comparação ao PRE 22D11, e entre os demais não houve diferença. O genótipo Morgan 20A55, com o maior acúmulo de MSPA e MSR, conseqüentemente, apresentou a maior massa seca total (MST). Já o PRE 22D11 e o Branco Precoce apresentaram o menor acúmulo da MST. PRE 22D11 foi o genótipo que apresentou a maior relação MSPA/MSR, sendo superior ao SHS 5050 e Língua-de-papagaio (Figura 2).

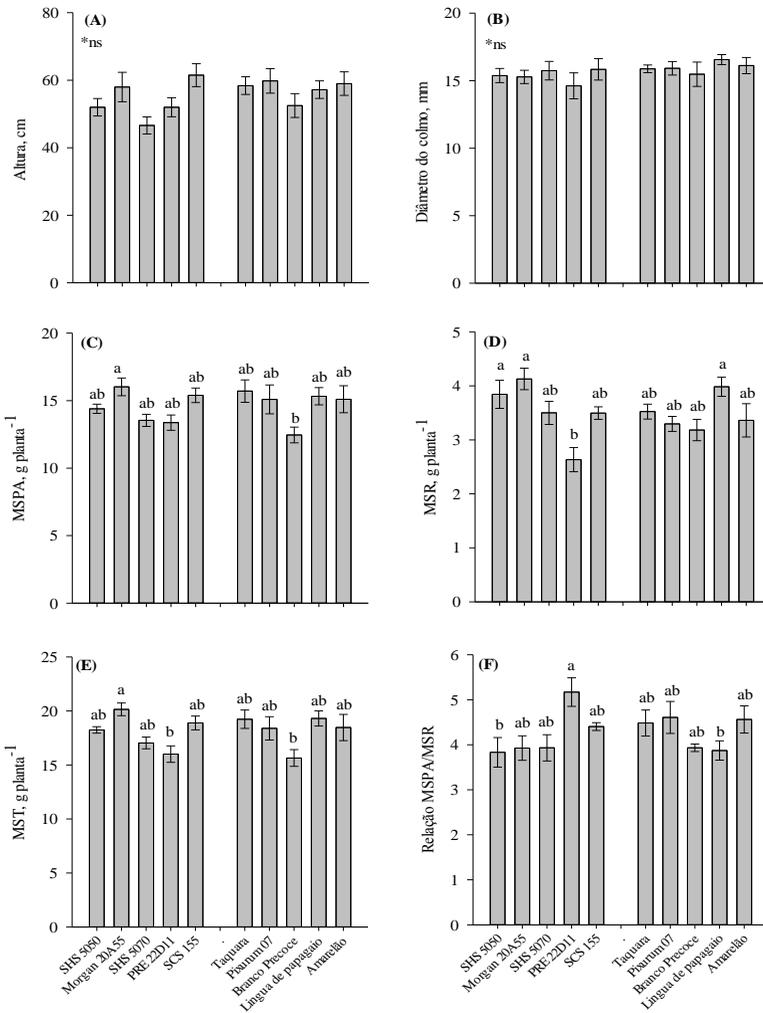


Figura 2. Altura (A), diâmetro do colmo (B), massa seca da parte aérea (MSPA) (C), massa seca da raiz (MSR) (D), massa seca total (MST) (E) e relação MSPA/MSR (F) em diferentes genótipos de milho crioulo e híbridos, mais cultivados no Oeste de Santa Catarina. Gráficos com barra de erro-padrão da média. $n=5$. CV: A= 12,89%; B= 9,23%; C=10,74%; D= 13,13%; E= 9,69%; F= 14,14%.

O teor de fósforo no genótipo Morgan 20A55 foi inferior aos genótipos SHS 5050, PRE 22D11 e Língua-de-papagaio, possivelmente em função do maior acúmulo de MSPA no solo com baixo teor de P disponível. Isso pode ser verificado na Figura 3, ao não se constatar diferença significativa para acúmulo de P, indicando um efeito de diluição para o genótipo Morgan 20A55.

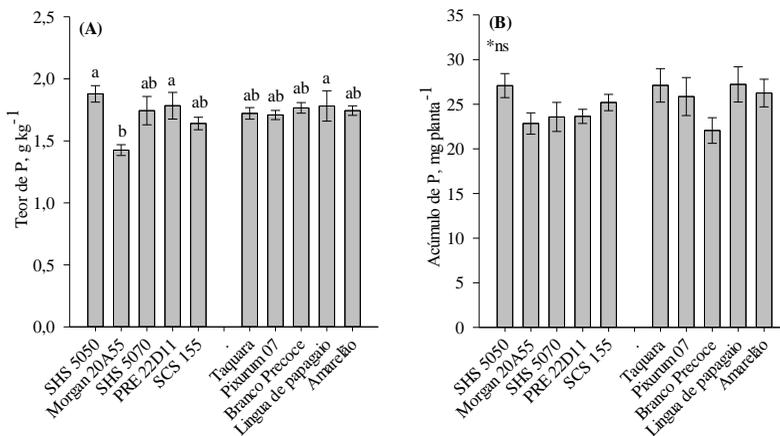


Figura 3. Teor de fósforo (A) e acúmulo de fósforo (B) em diferentes genótipos de milho crioulo e híbridos, mais cultivados no Oeste de Santa Catarina. Gráficos com barra de erro-padrão da média. n=5. CV: A= 9,63%; B= 13,74%.

As variáveis micorrízicas - arbúsculos, vesículas e colonização total - não diferiram entre genótipos nem entre grupos de milho, no caso crioulo e híbridos. Percebe-se que essas características são muito variáveis dentro dos genótipos, tornando-se difícil encontrar diferenças com o número de repetições utilizadas (Figura 4). Não foi verificada diferença no número de esporos entre tratamentos.

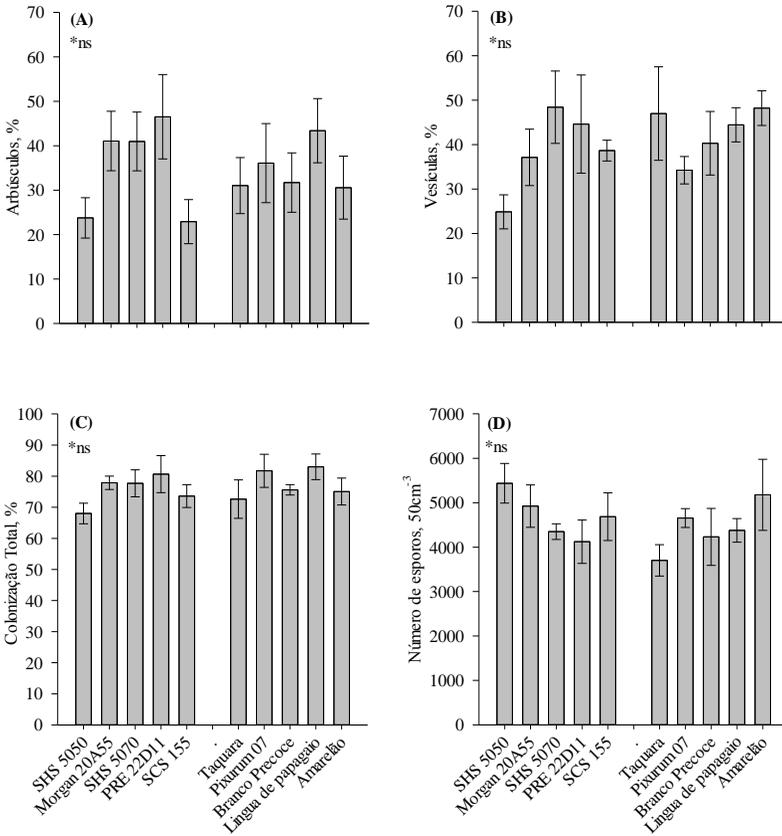


Figura 4. Colonização por arbúsculos (A), vesículas (B) colonização total (C) e número de esporos (D) em diferentes genótipos de milho crioulo e híbrido mais cultivados no Oeste de Santa Catarina. Gráficos com barra de erro-padrão da média. n=5. CV: A= 44,96%; B= 36,77%; C= 12,68%; D= 23,35%.

5.2. Ensaio II

As propriedades de milhos transgênicos (TR) amostradas concentravam-se próximo a estação meteorológica de São Miguel do Oeste, enquanto que as de convencionais (CO) e crioulos (CR) predominantemente próximas à estação de São José do Cedro (Figura 1). A precipitação acumulada na safra 2015/16, referente ao período de crescimento das plantas, foi distinta entre as estações meteorológicas. A estação de São José do Cedro registrou uma precipitação 41 % superior à estação de São Miguel do Oeste. Já na safra 2016/17, a precipitação foi muito semelhante nos dois pontos de coleta de dados meteorológicos (Figura 1 e Tabela A1).

Nas duas safras avaliadas as percentagens de colonização por vesículas, por arbúsculos e colonização total foram muito variáveis dentro dos sistemas de cultivo (TR, CO ou CR) (Figura 5 e 6). Na safra 2015/16 as percentagens de arbúsculos variaram entre 6-34% e na safra 2016/17 entre 13-63%. Para colonização por vesículas, também observando-se grande variação, verificou-se valores entre 1-12% para a safra de 2015/16 e 2-40% para a safra 2016/17. A colonização total, para a safra 2015/16, teve seu maior valor na propriedade TR2 (67%) e menor na propriedade TR5 (27%), já na safra 2016/17 a maior na CO5 (87%) e a menor na CR5 (43%), também não apresentando padrão de comportamento por sistemas de cultivo.

Os sistemas de cultivos apresentaram padrão de resposta distinto entre os anos para as variáveis micorrízicas. Na safra 2015/16 as médias das variáveis micorrízica apresentaram o seguinte disposição em ordem decrescente entre os sistemas de cultivo: para arbúsculos CO>TR>CR; vesículas CO>CR>TR e colonização total CO>CR>TR. Já para a safra 2016/17 o padrão foi CO>TR>CR para arbúsculos, vesículas e colonização total.

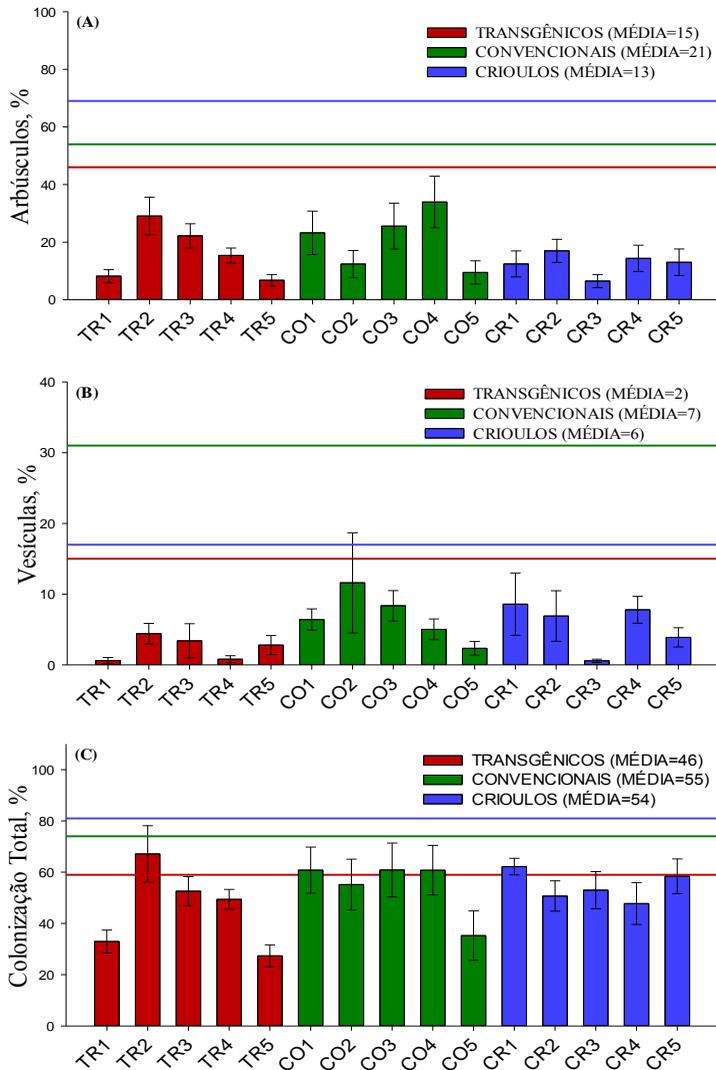


Figura 5. Percentagens de arbúsculos (A), vesículas (B), colonização radicular total (C), em milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) em lavouras no Oeste de Santa Catarina. Ano agrícola de 2015/2016. Gráficos com barra de erro-padrão da média. $n=5$. CV: A = 43,12%; B = 69,15%; C = 48,04%. Linhas horizontais representam a média por sistema de cultivo (TR, CO e CR) encontrada por Betancur-Agudelo (2016), nas mesmas áreas de estudo. Disponível como dissertação para consulta dos dados em “<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/167888>”

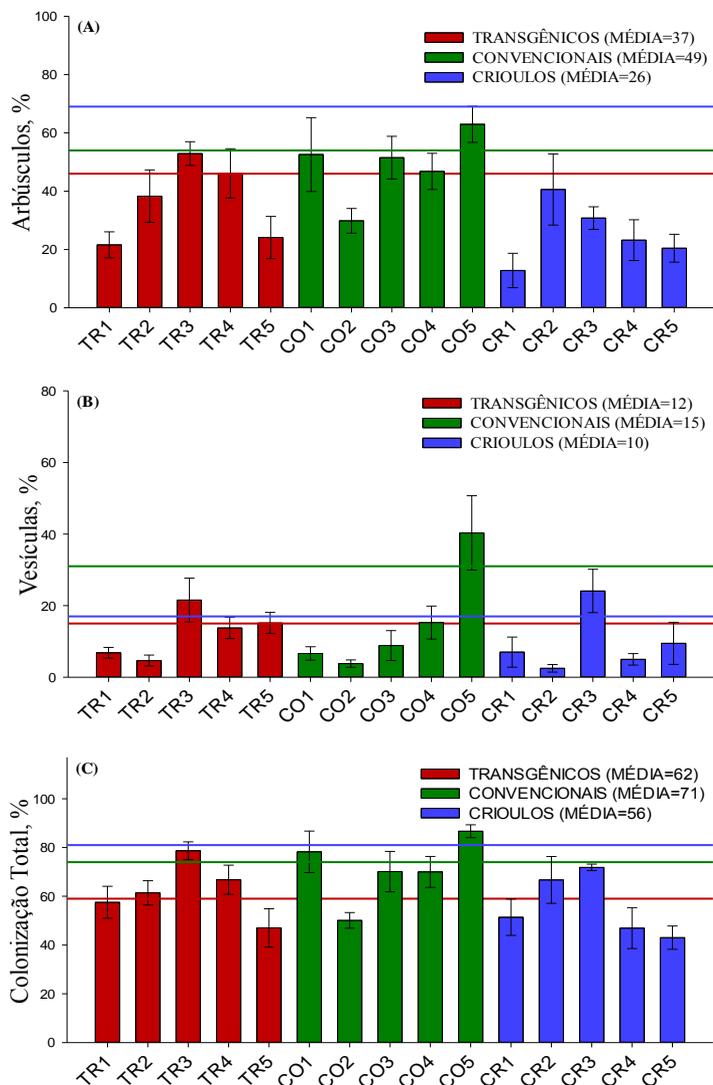


Figura 6. Percentagens de arbúsculos (A), vesículas (B), colonização radicular total (C), em milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) em lavouras no Oeste de Santa Catarina. Ano agrícola de 2016/2017. Gráficos com barra de erro-padrão da média. n=5. CV: A = 43,66%; B = 44,10%; C = 34,34%. Linhas horizontais representam a média por sistema de cultivo (TR, CO e CR) encontrada por Betancur-Agudelo (2016), nas mesmas áreas de estudo. Disponível como dissertação para consulta dos dados em “<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/167888>”

O teor de P foliar das plantas não diferiu entre tratamentos na safra 2015/16. Já na safra 2016/17 o tratamento TR apresentou valores menores que CR e CO (Tabela 4).

Tabela 4. Teor de P foliar (g kg^{-1}) em milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) em lavouras no Oeste de Santa Catarina.

ANO AGRÍCOLA	SISTEMAS DE CULTIVO		
	CR	CO	TR
2015/16 ^{ns}	2,14	1,69	2,07
2016/17 [*]	1,71 a	1,35 a	0,97 b

* Valores seguidos por letras diferentes nas linhas diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). *ns = não significativo (ANOVA, $p \leq 0,05$).

Em relação aos atributos físico-químicos do solo, pH, Argila, Al trocável e H+Al, não encontrou-se diferenças entre sistemas de cultivo em nenhuma das safras avaliadas. Já a matéria orgânica foi menor no CO, em relação ao CR e TR na safra 2015/16, enquanto na safra 2016/17 não houve diferenças entre sistemas de cultivo. A densidade aparente foi maior no mesmo tratamento (CO safra 2015/16) em que a matéria orgânica foi menor (Tabela 5).

Os valores de fósforo extraído por resina, na safra 2015/16, dos tratamentos CR e TR foram maiores que aquele do tratamento CO. Na safra 2016/17, o TR apresentou teores superiores de fósforo resina no solo em relação aos outros dois tratamentos. O teor de potássio no solo apresentou padrão igual nas duas safras: o CR teve os maiores teores, diferenciando-se do CO com os menores teores, enquanto o TR teve valores intermediários não se diferenciando dos demais tratamentos. Os teores de fósforo resina, assim como os de potássio foram superiores na safra 2016/17 em relação a safra 2015/16. Isso provavelmente resultou do maior aporte de fertilizantes pelos agricultores na segunda safra. Em relação ao cálcio trocável, nas duas safras o CO apresentou teor superior ao TR, enquanto o CR apresentou valores intermediários, não diferindo dos demais. Para Mg, o CO apresentou teores superiores ao CR e TR nas duas safras. A CTC (capacidade de troca de cátions) somente se diferenciou para a safra 2016/17, tendo o CO média superior, diferenciando-se do TR e, tendo valores intermediários e não diferindo dos demais, estava o tratamento CR (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de atributos físico-químicos do solo de lavouras com milho Transgênico (TR), Convencional (CO) e Crioulo (CR) no Oeste de Santa Catarina em dois anos agrícolas consecutivos. Da = Densidade aparente; M.O = Matéria orgânica; P resina = fósforo extraído por resina; CTC = Capacidade de Troca de Cátions.

ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO	ANO AGRÍCOLA	SISTEMAS DE CULTIVO		
		CR	CO	TR
pH (H ₂ O)	2015/16 ^{ns}	5,45	5,44	5,28
	2016/17 ^{ns}	5,44	5,34	5,24
Argila (g kg ⁻¹)	2015/16 ^{ns}	309	264	309
	2016/17 ^{ns}	309	304	325
M.O. (g kg ⁻¹)	2015/16 [*]	25,7 a	18,7 b	24,6 a
	2016/17 ^{ns}	25,6	24,4	25,1
Da (Mg m ⁻³)	2015/16 [*]	1,05 b	1,13 a	1,04 b
	2016/17 ^{ns}	1,05	1,11	1,11
P resina (mg kg ⁻¹)	2015/16 [*]	19,68 a	9,14 b	18,58 a
	2016/17 [*]	31,06 b	33,42 b	59,34 a
K trocável (mg kg ⁻¹)	2015/16 [*]	139,42 a	91,88 b	105,68 ab
	2016/17 [*]	180,02 a	128,33 b	154,96 ab
Al trocável (cmol _c dm ⁻³)	2015/16 ^{ns}	0,34	0,26	0,40
	2016/17 ^{ns}	0,33	0,22	0,38
Ca trocável (cmol _c dm ⁻³)	2015/16 [*]	13,22 ab	15,60 a	10,95 b
	2016/17 [*]	13,21 ab	15,88 a	8,98 b
Mg trocável (cmol _c dm ⁻³)	2015/16 [*]	2,82 b	3,91 a	2,87 b
	2016/17 [*]	2,84 b	4,64 a	2,85 b
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2015/16 ^{ns}	4,78	4,38	4,69
	2016/17 ^{ns}	4,76	4,31	4,57
CTC pH 7 (cmol _c dm ⁻³)	2015/16 ^{ns}	21,30	24,23	19,09
	2016/17 [*]	21,21 ab	25,15 a	16,96 b

⁽¹⁾ Valores seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey (p≤0,05).

“*” significativo e “ns” não significativo (ANOVA; p≤0,05).

Com a análise multivariada foi possível verificar alguns padrões que explicam a dinâmica das variáveis micorrízicas de acordo com as variáveis ambientais. A Análise de Redundância (RDA) mostrou que 27% da variação das variáveis micorrízicas são explicadas pelas variáveis ambientais. Os dois eixos explicam 26% da variação total, sendo que o eixo RDA1 explica 20,5% e o RDA2 5,5% (Figura 7). No entanto, a PERMANOVA, que testou o efeito das variáveis ambientais sobre as micorrízicas não mostrou significância a 5% de probabilidade de erro. Porém, quando se comparam as variáveis micorrízicas entre anos de cultivo, encontram-se diferenças significativas, com maior colonização por arbúsculos, por vesículas e total, na safra 2016/17, sendo essa diferença observada no gráfico da RDA.

Quando se buscam as diferenças das variáveis edafoclimáticas avaliadas nas duas safras, constata-se menor precipitação com uma melhor distribuição durante o período de desenvolvimento da cultura na safra 2016/17 em relação a 2015/16, nas duas estações meteorológicas (Figuras A1 a A4; Tabela A1). Também verificou um maior teor de P e K para a safra 2016/17 (Tabela 5).

As variáveis físico-químicas do solo e as micorrízicas não correlacionaram-se entre si, por Pearson a 5% de probabilidade de erro.

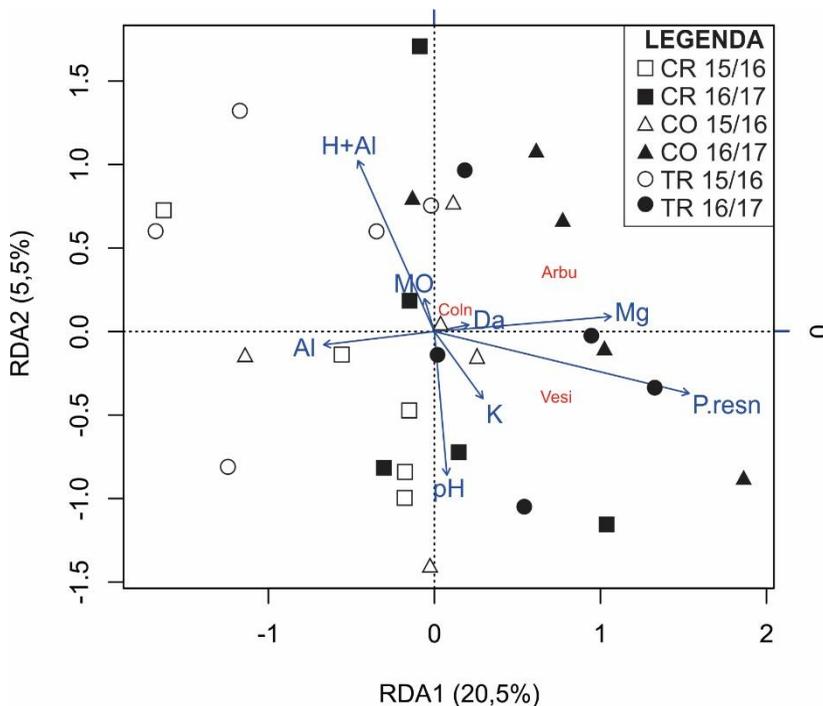


Figura 7. Análise de Redundância (RDA) das variáveis de colonização micorrízica e das variáveis físico-químicas do solo dos anos agrícolas 2015/16 e 2016/17 em lavouras no Oeste de Santa Catarina. Da = Densidade aparente; MO = Matéria orgânica; P resn = fósforo extraído por resina; pH = pH em H₂O; K = Potássio trocável; Mg = Magnésio trocável; Al = Alumínio trocável; H+Al = Acidez Potencial. Legenda: CR 15/16 = Crioulo safra 15/16; CR 16/17 = Crioulo safra 16/17; CO 15/16 = Convencional safra 15/16; CO 16/17 = Convencional safra 16/17; TR 15/16 = Transgênico safra 15/16; TR 16/17 = Transgênico safra 16/17.

6. DISCUSSÃO

No primeiro ensaio, a baixa diferença observada nas variáveis relacionadas ao crescimento das plantas possivelmente pode estar relacionada aos baixos teores de P disponível no solo, que limitaram o crescimento das plantas. O fósforo participa nos processos de trocas de energia (ATP), na divisão celular (DNA/RNA), e na constituição de estruturas dos vegetais (TAIZ e ZEIGER, 2009). Por ser um elemento essencial para as plantas, a baixa disponibilidade causa limitação de crescimento vegetal, o que impede a expressão de outras diferenças.

Os diferentes genótipos possuem diferentes estratégias de crescimento em baixo P; alguns investem mais na produção de parte aérea em relação a raízes (PRE 22D11) outros na produção de raízes em relação a parte aérea (SHS 5050 e Língua-de-papagaio). A maior produção de raízes por esses genótipos pode estar associada a uma estratégia para aumentar a exploração do solo e garantir suprimento adequado de P. Também se constatou que os diferentes genótipos cresceram com diferentes teores de P nos tecidos vegetais. O genótipo Morgan 20A55 apresenta capacidade de produzir matéria seca vegetal com menor concentração de P em seus tecidos. Isso revela maior eficiência de aproveitamento do P para uso pelo metabolismo vegetal envolvido no acúmulo de matéria seca, o que inclui a própria fotossíntese.

Os genótipos utilizados, em solo com baixo teor de P disponível, não diferiram entre si, assim como também não houve diferença entre grupos de milho (crioulo ou híbrido) para as variáveis micorrízicas. Esses resultados corroboram os de Lehmann et al. (2012), que, em meta-análise englobando 320 genótipos diferentes, não encontraram evidências de que novos genótipos de plantas cultiváveis tenham perdido sua capacidade de responder à micorrizas. Por outro lado, Cobb et al. (2016), avaliando duas linhagens crioulas e dois híbridos modernos de sorgo, verificaram que as linhagens híbridas apresentaram menor resposta a micorrização e maior à aplicação de fertilizantes minerais. Os autores argumentam que o melhoramento genético parece ter selecionado plantas menos responsivas à micorrização, mas, tendo usado poucos genótipos, não é possível inferir um padrão generalizado a partir da amostra do referido trabalho.

Segundo Kaeppler et al. (2000), a principal variação entre genótipos de milho quanto à colonização micorrízica se dá na responsividade a níveis de P. Devido a isso, nos próximos trabalhos

deve-se buscar avaliar os genótipos sobre diversos níveis de P, para se ter resultados mais esclarecedores.

No segundo ensaio, realizado a campo, a colonização do milho está dentro da amplitude de valores encontrados por outros autores. Miranda et al. (2005) encontraram média de 84% de colonização micorrízica em milho cultivado no cerrado, enquanto Barboza (2016) encontrou colonização variando de 20 a 100%, com média de 69%, em Latossolo Vermelho Típico com diversos teores de P disponível.

Betancur-Agudelo (2016) verificou, nestas mesmas áreas de estudo, maior colonização por arbúsculos e colonização total no milho crioulo em relação ao transgênico, padrão não verificado neste estudo. Isso possivelmente resultou do manejo aplicado nos sistemas de cultivo, que inclui procedimentos como níveis de adubação, capina, aplicação de agroquímicos, presença e diversidade de espécies espontâneas, revolvimento do solo ou adoção de plantio direto, que Carrenho et al. (2010) afirmam ser mais importantes para o estabelecimento e desenvolvimento da colonização do que o genótipo da planta em si. Na safra 2016/17 os produtores de milho crioulo passaram a utilizar adubação química para fornecer nitrogênio, fósforo e potássio (Tabela 3), enquanto que na safra 2015/16 (Tabela 2) e na 2014/15 (BETANCUR-AGUDELO, 2016) os produtores de milho crioulo usaram fontes orgânicas de adubo, na forma de esterco de animais e adubação verde, preferencialmente. Os adubos químicos têm a característica de serem liberados rapidamente no solo, levando a níveis mais altos de nutrientes por um período mais curto de tempo, enquanto os orgânicos têm a característica de fornecer os nutrientes gradualmente, à medida que acontece a decomposição (BUSATO et al., 2009). Essas características de disponibilidade de nutrientes no solo podem afetar a simbiose com FMA (SMITH e READ, 1998; MOURA, 2015).

A percentagem de vesículas aumenta sob condições ambientais estressantes (COOKE et al., 1993; SMITH e READ, 2008). Assim, a maior precipitação influenciando os sistemas de cultivo CO e CR poderia explicar a diferença observada no presente estudo para a safra 2015/16, visto que na safra 2016/17, na qual a precipitação foi semelhante entre os tratamentos, a percentagem de vesículas também foi similar. Outra possibilidade poderia ser uma mudança no padrão de espécies que prenominaram nas condições climáticas presentes, predominando espécies com maior tendência à produção de vesículas (PEREIRA, 2013). Segundo Varela-Cervero et al. (2015), espécies distintas de FMA produzem quantidades variáveis de estruturas funcionais, e distúrbios no solo tendem a ser mais prejudiciais para

espécies com esporos grandes (300-500 μ m), como Gigasporaceae (DOUDS et al., 1993; CUENCA et al., 1998; PICONE, 2000). Considerando que os membros da família Gigasporaceae não produzem vesículas (MORTON e BENNY, 1990), isso poderia indicar uma menor predominância destes indivíduos no sistema de cultivo TR. Porém, neste trabalho, isso só seria possível averiguar com análises de diversidade de FMA.

Os menores teores de P foliar encontrados nas lavouras TR podem ser resultado do potencial produtivo do milho, pois como estes genótipos são selecionados para maiores produtividades, o nível de P no solo (Tabela 5) pode não ter sido suficiente para suprir toda a planta por igual. (Tabela 4). O fósforo é um elemento bastante móvel dentro das plantas, e pode ser translocado das folhas mais velhas para órgãos onde se tem maior exigência, como no caso os grãos (RAGHOTHAMA, 1999). No entanto, não foi determinado rendimento, teor de P nos grãos ou massa seca total da parte aérea para comprovar tal hipótese.

Neste estudo, nenhuma das variáveis físico-químicas apresentou correlação com as variáveis micorrízicas, embora alguns estudos mostrem variáveis que influenciam os FMA. De acordo com Joner e Jakobsen (1995), o incremento de matéria orgânica aumenta a porosidade do solo e facilita o crescimento das hifas, alterando a produção de estruturas fúngicas e a colonização radicular. Em estudo realizado por Vieira et al. (2017), verificou-se que o pH, MO, Al, Mg e S do solo podem influenciar de maneira diferenciada a abundância de diversas espécies de FMA na estação seca e na estação chuvosa. No entanto, segundo Stürmer e Siqueira (2008), há dificuldade em estabelecer uma relação clara entre variáveis edafoclimáticas e ocorrência de FMA.

Um dos elementos mais citado como modulador da simbiose micorrízica é o P. A disponibilidade desse nutriente no solo afeta significativamente a colonização micorrízica das plantas: teores baixos de P estimulam a simbiose enquanto teores elevados tendem a prejudicar (SMITH e READ, 1998). Bressan e Vasconcellos (2002) verificaram, em casa de vegetação, um aumento da colonização micorrízica do milho até doses de P de 125 mg kg⁻¹ de solo, com decréscimo da colonização em doses superiores. Em sorgo e soja inoculadas com três FMA, Bressan et al. (2001) encontraram valores de P, com máxima colonização micorrízica, entre 100 e 125 mg kg de solo. Como a simbiose não é considerada no atual manejo da fertilidade do solo, muitos agricultores adicionam doses de P superiores às benéficas para a simbiose entre microrganismos e a planta. Suri et al. (2011) verificaram

que doses de 75% do P recomendado para a cultura do milho associado a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato e FMA geraram produtividade igual a dose 100% de P, e aquela foi a dose em que mais favoreceu a colonização micorrízica. Uma estratégia interessante seria a avaliação da dose adequada de fertilizantes, químicos ou preferencialmente orgânicos, por meio de experimentos, para cada tipo de solo, visando a uma alta produtividade da cultura, assim como ao aproveitamento do potencial dos microrganismos do solo (SURI et al., 2006).

Um fator que pode ter contribuído para as baixas relações explicativas sobre interação entre solo e FMA neste estudo são os coeficientes de variação para as variáveis micorrízicas presentes, classificados como muito altos segundo Gomes e Garcia (2002). Esses altos valores de variação podem ter prejudicado um melhor entendimento das estratégias dos FMA perante as variáveis físico-químicas do solo (CHEEKE et al., 2015).

O manejo adequado do solo é muito importante para manter constante o equilíbrio das comunidades de FMA, assim como tem relevância a presença de diferentes espécies vegetais, um sistema com rotação de cultura, adubação adequada (ANDRADE et al., 2010). A agricultura atual, com aplicação de altas quantidades de fertilizantes químicos e demais práticas associadas, exerce influência negativa sobre a comunidade de FMA (VERBRUGGEN et al., 2012; ROY et al., 2017). Da mesma forma, o uso de agrotóxicos nas lavouras impõe forte seleção ecológica e evolutiva nos FMA nos agroecossistemas (VERBRUGGEN e TOBY KIERS, 2010).

Em suma, este trabalho demonstra a importância de se estudar as associações simbióticas entre plantas e microrganismos a campo, visto que elas têm papel fundamental no desenvolvimento das plantas.

7. CONCLUSÕES

Não há diferenças na associação micorrízica em genótipos de milho crioulo e híbridos mais cultivados no Oeste de Santa Catarina, em solo com baixo P.

Os genótipos possuem estratégias diferenciadas quanto ao crescimento em baixo P em relação à produção de raízes e parte aérea vegetal, sendo o genótipo Morgan 20A55 o que apresentou capacidade de maior produção de matéria seca vegetal nestas condições.

A fertilidade e manejo do solo, em cada propriedade, tem influência maior sobre as variáveis micorrízicas que os grupos de milhos (crioulo, convencionais ou transgênicos) utilizados.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) possuem papel fundamental nos agroecossistemas, tanto do ponto de vista de auxílio nutricional quanto na amenização de estresses hídricos e elementos traço às plantas. Eles também afetam a formação de agregados melhorando a estruturação do solo (CARRENHO et al., 2010).

Está clara a importância de um bom gerenciamento da adubação, e do manejo como um todo, para usufruir do potencial dos FMA, além de outros microrganismos benéficos presentes no solo, também influenciados pelo manejo. Neste trabalho constata-se que as populações nativas de FMA possuem um grande potencial de colonização do milho quando estão sob condições adequadas de manejo. No entanto, não foi possível descobrir todas as variáveis que afetam a simbiose micorrízica, pois em um trabalho a campo há inúmeras fontes de variações, não controladas e não mensuradas. Neste estudo não foi possível realizar coletas dos três sistemas de cultivo em áreas próximas e bem distribuídas, visto que na região predominam núcleos de agricultores cultivando os diferentes tipos de milho, de acordo com hábitos culturais e outras particularidades. Em futuros trabalhos a campo na mesma linha de pesquisa que esse, com variáveis influenciadas por diversos fatores edafoclimáticos, seria interessante buscar áreas de coleta próximas a estações meteorológicas para se buscar uma maior clareza dos fatores envolvidos.

Pesquisas buscando avaliar de maneira mais detalhada todas as variáveis influentes sobre os FMA devem ser realizados. Também devem ser feitas avaliações dos efeitos dos agrotóxicos, utilizados juntamente aos manejos, sobre as comunidades de FMA. Merecem investigação os papéis das populações de espécies espontâneas ocorrendo com a cultura do milho, das plantas presentes no período entre safra, dentre outros fatores.

Trabalhos visando técnicas de cultivo que beneficiam microrganismos simbiotes presentes no solo são de grande importância para se buscar uma agricultura mais sustentável. No cenário atual se faz necessária uma otimização dos sistemas de produção de alimentos com um menor uso de insumos externos assim como uma redução dos produtos industrializados utilizados.

9. REFERÊNCIAS

- AGAPITO-TENFEN, S.Z.; GUERRA, M.P.; WIKMARK, O.G.; NODARI, R.O. Comparative proteomic analysis of genetically modified maize grown under different agroecosystems conditions in Brazil. *Proteome science*, n. 11, p.46. 2013.
- ANDRADE, B.J.O.; MATSUMOTO, S.N.; MEIRA, L.J.E.; COUTINHO F.C.F.R.; FERREIRA, S.M.A. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. *Bragantia*, v. 69, p. 201-206, 2010.
- ANDRADE, P.A.M. A composição de comunidade bacteriana do solo como fator determinante na micorrização de cana-de-açúcar do *Glomus clarum*. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências –área de Solos e Nutrição de Plantas) –Curso de pós-graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- AKIYAMA, K.; MATSUZAKI, K.; HAYASHI, K. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, v. 435, pp. 824-827, 2005.
- AQUINO, S.S. Associação micorrízica arbuscular com genótipos de milho. 55f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003.
- BAIS, H.P.; WEIR, T.L.; PERRY, L.G.; GILROY, S.; VIVANCO, J.M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, v. 57, p. 233–266, 2006.
- BAINARD, L.D.; BROWN, P.D.; UPADHYAYA, M.K. Inhibitory effect of tall hedge mustard (*Sisymbrium loeselii*) allelochemicals on rangeland plants and arbuscular mycorrhizal fungi. *Weed Science*, v. 57, p. 386-393, 2009.
- BARBOZA, E.A. Variabilidade espacial micorrízica, teor de fósforo no solo e produtividade da cultura do milho (*Zea mays*). 42f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- BEDINI, S.; PELLEGRINO, E.; AVIO, L.; PELLEGRINI, S.; BAZZOFFI, P.; ARGESE, E.; GIOVANNETTI, M. Changes in soil aggregation and glomalin-related soil protein content as affected by the arbuscular

mycorrhizal fungal species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. Soil Biology and Biochemistry, v. 41, p.1491-1496, 2009.

- BERBARA, R.L.L.; DE SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. Fungos Micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. In: FERNANDES, M.S. (Eds). Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53-88.
- BETANCUR-AGUDELO, M. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e caracterização da simbiose em milho crioulo, híbrido convencional e transgênico no oeste de Santa Catarina, Brasil. 98f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- BISPO, N. B. Progresso genético e caracterização fenotípica e molecular em híbridos de milho provenientes de diferentes programas de melhoramento genético. 66 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- BRESSAN, W.; VASCONCELLOS, C.A. Alterações morfológicas no sistema radicular do milho induzidas por fungos micorrízicos e fósforo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 509-517, 2002.
- BRESSAN, W.; SIQUEIRA, J.O.; VASCONCELLOS, C.A.; PURCINO, A.A. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, p. 315-323, 2001.
- BUSATO, J.G; CANELLAS, L.P; DOBBSS, L.B; BALDOTTO, M.A; AGUIAR, N.O; MARCIANO, C.R; OLIVARES, F.L. Guia para Adubação Orgânica. (Manual Técnico, 14). Niterói: Secretaria de Agricultura do Estado do Rio de Janeiro / Pesagro, 2009. 29p.
- CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; GRANHA, J.D.O.; SOUCHIE, E.L. Ocorrência de Fungos Micorrízicos Arbusculares em resíduo da mineração de bauxita revegetado com espécies arbóreas, Acta botanica brasiliensis, Feira de Santana, v. 21, p. 99-106, 2007.
- CARRENHO, R.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; BALOTA, E.L.; COLOZZA-FILHO, A. Fungos micorrízicos arbusculares em agrossistemas brasileiros. In: SIQUEIRA, J.O., SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. (Eds). Micorrizas 30 anos de pesquisa no Brasil. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2010. p.154-214.

- CHEEKE, T.E.; CRUZAN, M.B.; ROSENSTIEL, T.N. Field evaluation of arbuscular mycorrhizal fungal colonization in *Bacillus thuringiensis* toxin-expressing (Bt) and non-Bt maize. *Applied and environmental microbiology*, v. 79, n. 13, p. 4078-4086, 2013.
- CHEEKE, T. E.; DARBY, H.; ROSENSTIEL, T. N.; BEVER, J. D.; CRUZAN, M. B. Effect of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize cultivation history on arbuscular mycorrhizal fungal colonization, spore abundance and diversity, and plant growth. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 195, p. 29-35, 2014.
- CHEEKE, T.E.; PACE, B.A.; ROSENSTIEL, T.N.; CRUZAN, M. B. The influence of fertilizer level and spore density on arbuscular mycorrhizal colonization of transgenic Bt 11 maize (*Zea mays*) in experimental microcosms. *FEMS microbiology ecology*, v. 75, n. 2, p. 304-312, 2011.
- CHEEKE, T.E.; ROSENSTIEL, T.N.; CRUZAN, M.B. Evidence of reduced arbuscular mycorrhizal fungal colonization in multiple lines of Bt maize. *American Journal of Botany*, v. 99, n. 4, p. 700-707, 2012.
- CHEEKE, T.E.; SCHÜTTE, U.M.; HEMMERICH, C.M.; CRUZAN, M.B.; ROSENSTIEL, T.N.; BEVER, J.D. Spatial soil heterogeneity has a greater effect on symbiotic arbuscular mycorrhizal fungal communities and plant growth than genetic modification with *Bacillus thuringiensis* toxin genes. *Molecular ecology*, v. 24, n. 10, p. 2580-2593, 2015.
- COBB, A.B.; WILSON, G.W.; GOAD, C.L.; BEAN, S.R.; KAUFMAN, R.C.; HERALD, T.J.; WILSON, J.D. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in grain production and nutrition of sorghum genotypes: Enhancing sustainability through plant-microbial partnership. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 233, p. 432-40, 2016.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária. Safra 2016/2017. Brasília, v.5, p. 1-112, 2017a.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&Pagina_objcmscont_eudos=3. Acesso em: 18 de Dezembro de 2017b.
- COOKE, M.A.; WIDDEN, P.; O'HALLORAN I. Development of vesicular-arbuscular mycorrhizae in sugar maple (*Acer saccharum*) and effects

of base-cation amendment on vesicle and arbuscule formation. Canadian Journal of Botany, v. 71, p. 1421-1426, 1993.

COSTA, F.M.; SILVA, N.C.A.; OGLIARI, J.B. Maize diversity in southern Brazil: indication of a microcenter of *Zea mays* L. Genetic Resources and Crop Evolution (Print), v. 63, p. 1-30, 2016.

CUENCA, G.; DE ANDRADE, Z.; ESCALANTE, G. Diversity of Glomalean spores from natural, disturbed, and revegetated communities growing on nutrient-poor tropical soils. Soil Biology and Biochemistry, v.30, p.711-719, 1998.

DOUDS, D.D.; JANKE, R.R.; PETERS, S.E. VAM fungus spore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. Agriculture, Ecosystems & Environment, v.43, p.325-335, 1993.

DUBREUIL, P; WARBURTON, M; CHASTANET, M; HOISINGTON, D; CHARCOSSET, A. More on the introduction of temperate maize into Europe: large-scale bulk SSR genotyping and new historical elements. Maydica, v. 51, p. 281-291, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EPAGRI. Milho. Variedades de Polinização aberta. Disponível em: <http://www.epagri.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/MILHO-Variedades-de-polinizacao-aberta.pdf>. Acesso em: 23 de junho de 2017.

FIGUEIRA DA SILVA, C.; GERVASIO PEREIRA, M.; DOS SANTOS, V. L.; MIGUEL, D.L.; RIBEIRO DA SILVA, E.M. Fungos micorrízicos arbusculares: composição, comprimento de micélio extrarradicular e glomalina em áreas de mata atlântica, Rio de Janeiro. Ciência Florestal, v. 26, p. 419-433, 2016.

GARCIA,G.V. Comunidade microbiana da rizosfera do milho Bt. YieldGard VTPRO 2. 34 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Curso de pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, v.46, p. 235-244, 1963.
- GOMES, F.; GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq; 2002.
- GOMIDE, P.H.; SILVA, M.L.N.; SOARES, C.R.F.S.; CARDOSO, E.L.; DE CARVALHO, F.; LEAL, P.L.; MARQUES, R.M.; STÜRMER, S.L. Fungos micorrízicos arbusculares em fitofisionomias do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1114-1127, 2014.
- HENDRIX, J.W.; GUO, B.Z.; AN, Z.Q. Divergence of mycorrhizal fungal communities in crop production systems. *Plant and Soil*, v. 170, p. 131-40, 1995.
- HENTZ, A.M.; ANTONIOLLI, Z.I.; KAMINSKI, J.; LORENSI SOUZA, E.; LOPES OLIVEIRA, V. Fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos em áreas de eucalipto e de campo nativo em solo arenoso. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 16, p. 293-301, 2006.
- HILL, J.O.; SIMPSON, R.J.; MOORE, A.D.; CHAPMAN, D.F. Morphology and response of roots of pasture species to phosphorus and nitrogen nutrition. *Plant and Soil*, The Hague, v. 286, p. 7-19, 2006.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station, v. 347, n. 2nd edit, p. 32, 1950.
- HWANG, S.F.; CHANG, K.F.; CHAKRAVARTY, P. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the development of *Verticillium* and *Fusarium* wilts of alfalfa. *Plant Disease*, v. 76, p. 239- 243, 1992.
- ISAAA - International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. Brief, n. 17: Genetic Engineering and GM Crops. ISAAA: Ithaca, NY. Disponível em: <http://isaaa.org/resources/publications/pocketk/17/default.asp> Acesso em: 12 Nov. 2017.
- JANTARA, A.E; SILVA, F.P. Sementes Crioulas: Estratégias para Assegurar Renda com Autonomia na Agricultura Familiar Camponesa. In: PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; DUARTE, A.P.; TSUNECIRO, A.

Diversidade e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos. Associação Brasileira de Milho e Sorgo, Campinas: Instituto Agrônômico, 2012. 780p.

- JASTROW, J.D.; MILLER, R.M.; LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 30, p. 905-916, 1998.
- JONER, E.J.; JAKOBSEN, I. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 27, p. 1153-1159, 1995.
- KAEPLER, S.M.; PARKE, J.L.; MUELLER, S.M.; SENIOR, L.; STUBER, C.; TRACY, W.F. Variation among maize inbred lines and detection of quantitative trait loci for growth at low phosphorus and responsiveness to arbuscular mycorrhizal fungi. *Crop Science*, v. 40, p. 358-364, 2000.
- KELEMAN, A; HELLIN, J; BELLON, M.R. Maize diversity, rural development policy, and farmers practices: lessons from Chiapas, Mexico. *The Geographical Journal* v.175, n.1, p.52-70, 2009.
- KIRIACHEK, S.G.; AZEVEDO, L.C.B.; PERES, L.E.P.; LAMBAIS, M.R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 1-16, 2009.
- KIST, V.; OGLIARI, J.B.; MIRANDA FILHO, J.B.; ALVES, A.C. Genetic potential of a maize population from Southern Brazil for the modified convergent divergent selection scheme. *Euphytica*, v. 176, p. 25-36, 2010.
- KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research*, v. 92, p. 486-488, 1989.
- KUHNEN, S.; DIAS, P. F.; OGLIARI, J. B.; MARASCHIN, M. Brazilian Maize Landraces Silks as Source of Lutein: An Important Carotenoid in the Prevention of Age-Related Macular Degeneration. *Food and Nutrition Sciences*, v. 3, p. 1609-1614, 2012.
- LAMBAIS, M.R.; RAMOS, A.C. Sinalização e transdução de sinais em micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUSA, F.A.; CARDOSO, F.J.B.N.; TSAI, S.M. (Eds) *Micorrizas: 30 anos de ocorrência no Brasil*, UFLA, Lavras, p. 119-132. 2010.

- LEHMANN, A.; BARTO, E.K.; POWELL, J.R.; RILLIG, M.C. Mycorrhizal responsiveness trends in annual crop plants and their wild relatives-a meta-analysis on studies from 1981 to 2010. *Plant and Soil*, v. 355, p. 231-250, 2012.
- LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. New roots for agriculture: exploiting the root phenome. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, London, v. 367, p. 1598-1604, 2012.
- LYNCH, J. P. Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, Victoria, v. 55, p. 493-512, 2007.
- MACHADO, A.; SANTILLI, J.; MAGALHÃES, R. A agrobiodiversidade com enfoque agroecológico: implicações conceituais e jurídicas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 98p.
- MACHADO, A.T. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 9, p. 35-50, 2014.
- 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.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Viena: Academic Press, 2012. 645 p.
- MATSUOKA, Y; VIGOUROUX, Y; GOODMAN, M.M; SANCHEZ, G.J; BUCKLER, E; DOEBLEY, J. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, p. 6080–6084, 2002.
- McGONIGLE, T.P.; MILLER, M.H.; EVANS, D.G.; FAIRCHILD, G.L.; SWAN, J.A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New phytologist*, v. 132, p. 127-133. 1990.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Milho. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>. Acesso em 15 Jun. 2017.
- MIRANDA, E.M.; SILVA, E.M.R.; SAGIN JUNIOR, O.J. Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiro

em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 40, p. 13-22, 2010.

- MIRANDA, J.C.; VILELA, L.; MIRANDA, L.N. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, p. 1005-1014, 2005.
- MORALES, D.M. Efeitos do milho transgênico sobre aspectos morfofisiológicos da associação micorrízica e sobre a diversidade dos fungos micorrízicos arbusculares. 147 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Recursos Genéticos Vegetais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 2006.
- MOREIRA, M.; NOGUEIRA, M.A.; TSAI, S.M.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; CARDOSO, E.J. Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brasil Pine in the field and in the greenhouse. *Mycorrhiza*, v.17, p.519-526, 2007.
- MOURA, J. B. Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no cerrado. 124 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Agronomia), Universidade de Brasília, Brasília, 2015.
- MORTON, J.B.; BENNY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, v.37, p.471-491, 1990.
- NEWSHAM, K.K.; FITTER, A.H.; WATKINSON, A.R. Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizae. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 10, p.407-411, 1995.
- OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; WAGNER, H. Package 'vegan'. *R Package*, v. 254, p. 8-20, 2013.
- OLIVEIRA, C.A.; SA, N.M.H.; GOMES, E.A.; MARRIEL, I.E.; SCOTTI, M.R.; GUIMARAES, C.T.; SCHAFFERT, R.E.; ALVES, V.M.C. Assessment of the mycorrhizal community in the rhizosphere of maize (*Zea mays* L.) genotypes contrasting for phosphorus efficiency in the

acid savannas of Brazil using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 41, p. 249-258, 2009.

PARKER, J.S.; CAVELL, A.C.; DOLAN, L.; ROBERT, K.; GRIERSON, C.S. Genetic interactions during root hair morphogenesis in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, Rockville, v. 12, p. 1961-1974, 2000.

PEREIRA, C.M.R. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em área de Mata Atlântica sob diferentes usos do solo. 83f. Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em Biologia de Fungos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

PICARD, C.; BARUFFA, E.; BOSCO, M. Enrichment and diversity of plant-probiotic microorganisms in the rhizosphere of hybrid maize during four growth cycles. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 40, p. 106-115, 2008.

RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Biology*, v.50, p.665-693, 1999.

RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. *New Phytologist*, Oxford, v. 168, p. 305-312, 2005.

ROY, J.; REICHEL, R.; BRÜGGEMANN, N.; HEMPEL, S.; RILLIG, M.C. Succession of arbuscular mycorrhizal fungi along a 52-year agricultural recultivation chronosequence. *FEMS microbiology ecology*, v. 93, p. 1-13, 2017.

SANDERS, I.R.; FITTER, A.H. The ecology and functioning of vesicular arbuscular mycorrhizas in coexisting grassland species: seasonal patterns of mycorrhizal occurrence and morphology. *New Phytologist*, United Kingdom, v. 120, p. 517-524, 1992.

SASVÁRI, Z.; POSTA, K. Effect of different plant densities on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi community in a long-term maize monocrop system. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v. 8, p. 123-130. 2010.

SHIFERAW, B.; PRASANNA, B.; HELLIN, J.; BANZIGER, M. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, v. 3, p. 307-327, 2011.

- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Eschborn: ZTZ, 1991. 371 p.
- SILVA, K.J.; ARMAS, R.D.; SOARES, C.R.F.S.; OGLIARI, J.B. Communities of endophytic microorganisms in different developmental stages from a local variety as well as transgenic and conventional isogenic hybrids of maize. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, v. 32, p. 2-9, 2016.
- SILVEIRA, A.P.D. Ecologia de fungos micorrízicos arbusculares. In: MELO, I.S.; AZEVEDO, J.L. (Eds). *Ecologia Microbiana*. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. p. 61-86.
- SILVEIRA, D. C.; BONETTI, L. P.; TRAGNAGO, J. L.; NETO, N.; MONTEIRO, V. Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. *Revista Ciência e Tecnologia*, v.1, n.1, p. 01-11, 2015.
- SMITH, S.E.; READ, D.J. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, UK. 2008.
- SOUZA, F.D.; STÜRMER, S.L.; CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B. Classificação e taxonomia de fungos micorrízicos arbusculares e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. (Eds.). *Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil*. Lavras: UFLA, 2010. p. 15-75.
- STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiro. In: MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; BRUSSARD, L. (Eds). *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. p.537-584.
- STINSON, K.A.; CAMPBELL, S.A.; POWELL, J.R.; WOLFE, B.E.; CALLAWAY, R.M.; THELEN, G.C.; HALLETT, S.G.; PRATI, D.; KLIRONOMOS, J.N. Invasive plant suppresses the growth of native tree seedlings by disrupting belowground mutualisms. *PLoS Biology*, v. 4, p. 727-731, 2006.
- SURI, V.K.; CHOUDHARY, A.K.; CHANDER, G.; VERMA, T.S. Studies on VAM fungi as a potential biofertilizer in an acid Alfisol of northwestern Himalayas. In 18th WCSS congress abstracts, 2006, Vienna, Austria: International Union of Soil Science, v. 515. 1p.

- SURI, V.K.; CHOUDHARY, A.K.; CHANDER, G.; VERMA, T.S.; GUPTA, M.K.; DUTT, N. Improving phosphorus use through co-inoculation of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria in maize in an acidic alfisol. *Communications in soil science and plant analysis*, v. 42, p. 2265-2273, 2011.
- TATAW, J.T.; BAIER, F.; KROTTENTHALER, F.; PACHLER, B.; SCHWAIGER, E.; WYHLIDAL, S.; FORMAYER, H.; HÖSCH, J.; BAUMGARTEN, A.; ZALLER, J.G. Climate change induced rainfall patterns affect wheat productivity and agroecosystem functioning dependent on soil types. *Ecological research*, v. 31, p. 203-212, 2016.
- TAVARES, A.N.; GOMES, E.A.; UBIRACI DE PAULA, L.A.; NEGRI, B.F. Monitoramento da comunidade microbiana rizosférica associadas a genótipos de milhos transgênicos Bt comercializados no Brasil. *Revista Brasileira de Ciências da Vida*, v. 5, p. 1-24, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
- THOMSON, B.D.; ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K. The effect of long-term applications of phosphorus fertilizer on populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pastures. *Australian Journal of Agriculture Research*, v.43, p. 1131-1142, 1992.
- THOMÉ, V.M.; RADTKE, S. Z.; BRAGA, H.J.; PANDOLFO, C.; SILVA, J.; VAMILSON, P.D.; BACIC, I.; LAUS, N.J.; SOLDATELI, D.; GEBLER, E. ORE, J.D.; ECHEVERRIA, L.; MATTOS, M.; SUSKI, P.P. *Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 1999, v.1000. 1000p.
- TRINDADE, A.V.; SIQUEIRA, J.O.; ALMEIDA, F.P. Dependência micorrízica de variedades comerciais do mamoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.36, p.1485-1494, 2001.
- USDA. Safrá mundial de Milho 2016/17 – 12º Levantamento do USDA. Informativo. Disponível em: <file:///C:/Users/Meyer/Downloads/boletimmilhooutubro2017pdf.pdf. Acesso em: 15 de dezembro de 2017

- VARELA-CERVERO, S.; VASAR, M.; DAVISON, J.; BAREA, J.M.; ÖPIK, M.; AZCÓN-AGUILAR, C. The composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities differs among the roots, spores and extraradical mycelia associated with five Mediterranean plant species. *Environmental microbiology*, v. 17, p. 2882-2895, 2015.
- VERBRUGGEN, E.; TOBY KIERS, E. Evolutionary ecology of mycorrhizal functional diversity in agricultural systems. *Evolutionary Applications*, v. 3, p. 547- 560, 2010.
- VERBRUGGEN, E.; VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; WEEDON, J.T.; KOWALCHUK, G.A.; ROELING, W.F. Community assembly, species richness and nestedness of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Molecular Ecology*, v. 21, p. 2341-53, 2012.
- VIEIRA, C.K.; MARASCALCHI, M.N.; RODRIGUES, A.V.; DE ARMAS, R.D.; STÜRMER, S.L. 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*, p. 1-14, 2017.
- VON DER WEID, J. M.; SOARES, A. C. Relação entre agricultura e biodiversidade. In: SOARES, A. C.; MACHADO, A. T.; SILVA, B. de M.; WEID, J. M. von der. *Milho crioulo: conservação e uso da biodiversidade*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1998. p. 3-12.
- WALTER, J.; KREYLING, J.; SINGH, B.K.; JENTSCH, A. Effects of extreme weather events and legume presence on mycorrhization of *Plantago lanceolata* and *Holcus lanatus* in the field. *Plant Biology*, v. 18, p. 262-270, 2016.
- ZENG, H.; TAN, F.; ZHANG, Y.; FENG, Y.; SHU, Y.; WANG, J. Effects of cultivation and return of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize on the diversity of the arbuscular mycorrhizal community in soils and roots of subsequently cultivated conventional maize. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 75, p. 254-263, 2014.
- ZHU, J.M.; LYNCH, J.P. The contribution of lateral rooting to phosphorus acquisition efficiency in maize seedlings. *Functional Plant Biology*, Vitória, v. 31, p. 949-958, 2004.
- ZHU, Y.G.; MILLER, R.M. Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. *Trends in plant science*, v. 8, p. 407-409, 2003.

APÊNDICES

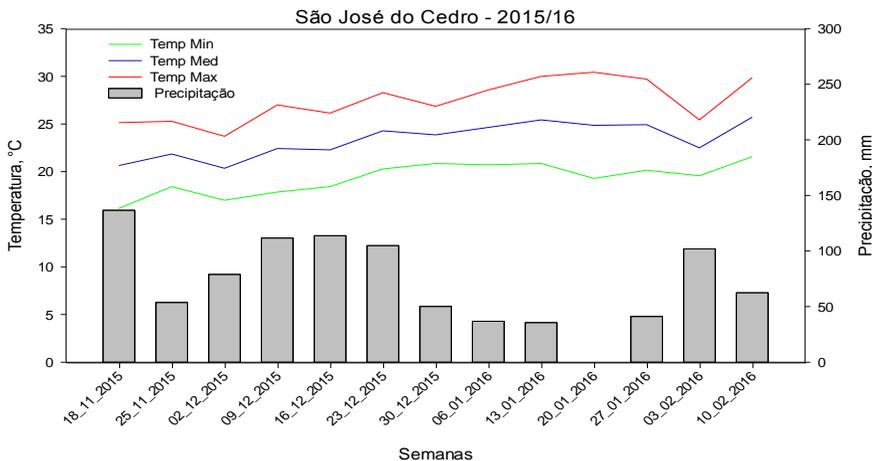


Figura A1. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São José do Cedro, antecedentes a coleta das amostras da safra 2015/16. A data no gráfico refere-se ao dia central da semana representada no gráfico.

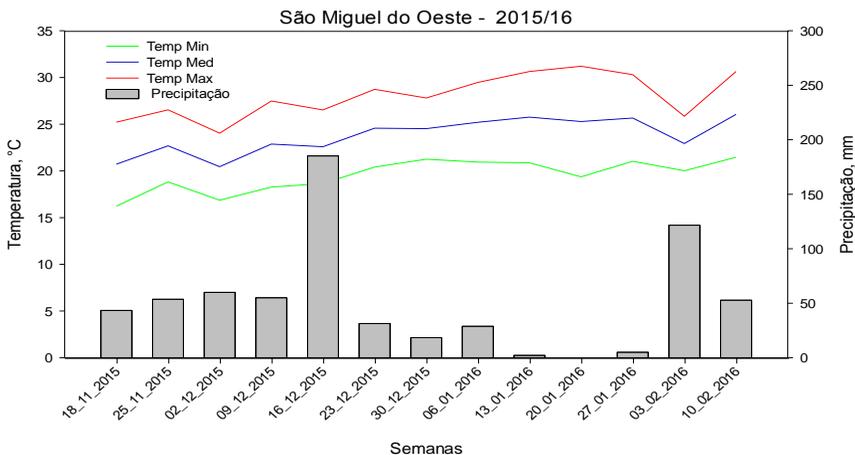


Figura A2. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São Miguel do Oeste, antecedentes a coleta das amostras da safra 2015/16. A data no gráfico refere-se ao dia central da semana representada no gráfico.

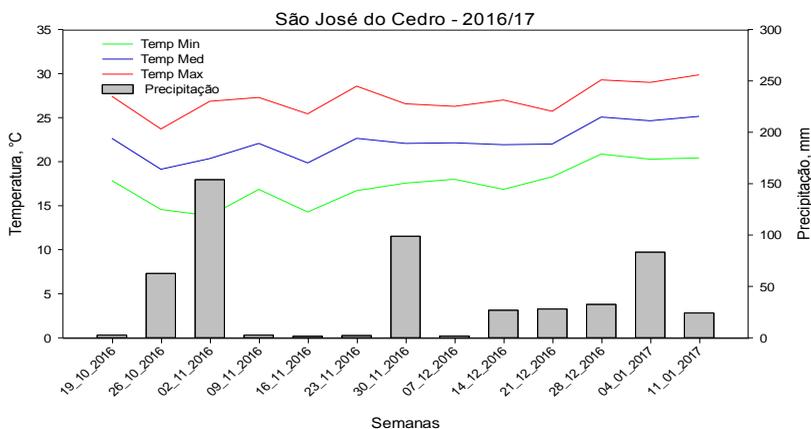


Figura A3. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São José do Cedro, antecedentes a coleta das amostras da safra 2016/17. A data no gráfico refere-se ao dia central da semana representada no gráfico.

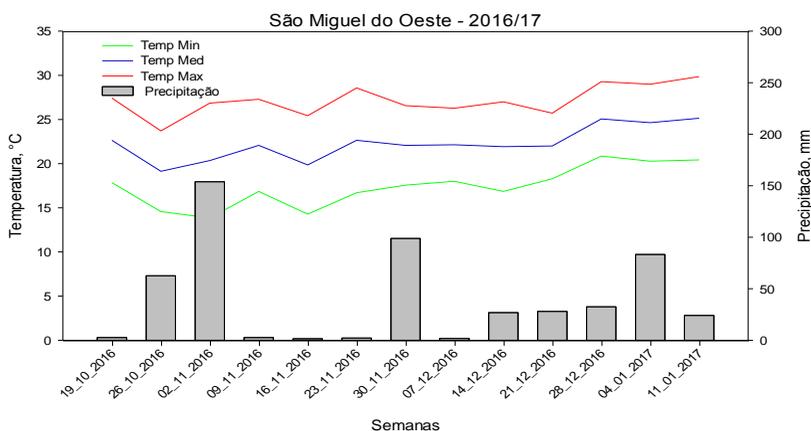


Figura A4. Médias semanais de Temperatura mínima, média, máxima e precipitação dos 90 dias, da estação de São Miguel do Oeste, antecedentes a coleta das amostras da safra 2016/17. A data no gráfico refere-se ao dia central da semana representada no gráfico.

Tabela A1. Médias de precipitação acumulada e temperatura média durante os 90 dias antecedentes a coleta das amostras. S.M.O. = São Miguel do Oeste; S.J.C.=São José do Cedro.

SAFRA	PRECIPITAÇÃO (mm)		TEMPERATURA MÉDIA (°C)	
	S.M.O.	S.J.C.	S.M.O.	S.J.C.
2015/16	657,4	927,6	23,8	23,4
2016/17	514,6	520,6	22,6	22,3