

SONIA PURIN

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: ATIVIDADE,
DIVERSIDADE E ASPECTOS FUNCIONAIS EM
SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MAÇÃ.**

LAGES – SC

2005

SONIA PURIN

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: ATIVIDADE,
DIVERSIDADE E ASPECTOS FUNCIONAIS EM
SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MAÇÃ.**

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

Orientador : Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho.

LAGES – SC

2005

Sonia Purin

Bióloga – FURB

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES: ATIVIDADE, DIVERSIDADE E
ASPECTOS FUNCIONAIS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MAÇÃ.**

Aprovado em:

Homologado em:

Pela Banca examinadora:

Dr. Osmar Klauberg Filho
Orientador – CAV/UDESC

Dr. Jaime Antonio de Almeida
Coordenador do Programa de Mestrado em
Agronomia, Coordenador técnico do Curso
de Mestrado em Ciência do Solo.

Dr. Júlio César Pires Santos
Co-orientador – CAV/UDESC

PhD. Sidney Luiz Stürmer
Universidade Regional de Blumenau –
FURB

Dr. Paulo Cesar Cassol
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias.

Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Professor – CAV/UDESC

LAGES (SC) – BRASIL

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Agroveterinário da UDESC (CAV) e ao Departamento de Solos, pelo suporte à concretização deste trabalho;

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

À FINEP, pelo financiamento destinado a este projeto;

À EPAGRI Lages, pelo apoio fornecido para as análises laboratoriais;

Aos professores do CAV Jackson Adriano Albuquerque, Jaime Antonio de Almeida, Cassandro Vidal Talamini do Amarante e Álvaro Luiz Mafra, pelas valiosas colaborações durante o desenvolvimento deste trabalho;

Ao PhD Matthias C. Rillig (University of Montana), pela sua contribuição incondicional a este trabalho de pesquisa;

Ao professor Sidney Luiz Stürmer, pela amizade, apoio, e também pelo auxílio na identificação taxonômica;

Ao professor co-orientador Julio Cesar Pires Santos, pelo incentivo e companheirismo no decorrer destes dois anos;

Ao meu orientador, professor Osmar Klauberg Filho (Daddy!!!), por toda a dedicação no decorrer destes dois anos, expressa em sua brilhante orientação, e também por sua amizade e valiosos conselhos. Vou sentir muito a sua falta!

Aos bolsistas de iniciação científica Danielle C. P. R. da Silva, Eraldo Cruz Mota, Lucélia Cabral, James Rodrigo Mariotto e Denice de Almeida, pela valiosa contribuição;

Às amigas Priscilla da Silva, Patrícia Coldebella e Franciele Roman, pelas horas de alegria, dificuldade e todos os momentos compartilhados;

Ao meu namorado, André da Costa, por cada minuto de cumplicidade que construímos desde nosso encontro, e por todos os momentos felizes e também árduos nos quais você esteve ao meu lado;

Aos meus queridos pais que tanto amo, Evanilde e João, por todas as oportunidades da minha vida, carinho e amor incondicionais;

A Deus, por colocar todas estas pessoas especiais em meu caminho, e por guiar meus caminhos ao longo de mais esta etapa, agora vencida.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	02
REFERENCIAL TEÓRICO	04
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO 1 - ATIVIDADE E DIVERSIDADE DE FUNGOS	
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ASSOCIADOS A	
POMARES ORGÂNICOS E CONVENCIONAIS DE	
MACIEIRA E CAMPO NATIVO NO SUL DO BRASIL	25
RESUMO	26
ABSTRACT	27
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1. ATIVIDADE DOS FMAs	39
3.2. DIVERSIDADE DOS FMAs	52
4. CONCLUSÕES	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
CAPÍTULO 2 - USO DA ANÁLISE MULTIVARIADA PARA DISCRIMINAR	
INDICADORES BIOLÓGICOS E QUÍMICOS EM SISTEMAS	
DE PRODUÇÃO DE MAÇÃS	83
RESUMO	84
ABSTRACT	85
1. INTRODUÇÃO	86
2. MATERIAL E MÉTODOS	88
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
4. CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
CAPÍTULO 3 - MICÉLIO, GLOMALINA E ESTABILIDADE DE	
AGREGADOS EM POMAR CONVENCIONAL, POMAR	
ORGÂNICO E CAMPO NATIVO NO SUL DO BRASIL	102
RESUMO	103
ABSTRACT	104
1. INTRODUÇÃO	105
2. MATERIAL E MÉTODOS	106
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
4. CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
CONCLUSÕES GERAIS	130
ANEXO I – CAPÍTULO 1	131
ANEXO II – CAPÍTULO 3	141

INTRODUÇÃO GERAL

A adoção de práticas conservacionistas na produção agrícola vem crescendo continuamente nos últimos anos, impulsionando a conversão de sistemas convencionais em sistemas integrados ou orgânicos no Brasil e no mundo. De maneira geral, sistemas orgânicos produzem menores impactos sobre o solo que sistemas de produção convencional, significando que são mais vantajosos do ponto de vista de manutenção da qualidade do solo. No cultivo orgânico ocorre a valorização da atividade dos componentes biológicos do solo, já que a nutrição e aspectos fitossanitários não dependem somente de insumos agrícolas, mas da ação da biota em suas mais variadas funções no solo. Neste contexto, a atividade dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) destaca-se por ser um componente de ocorrência generalizada nos pomares de maçã e pela comprovada dependência desta cultura à simbiose micorrízica arbuscular. Esta associação reflete-se em benefícios no desenvolvimento e nutrição da macieira, maior resistência a patogenias e melhoria na estruturação do solo através da rede de micélio e da produção de glomalina.

Além disso, como componentes essenciais da biota, os FMAs merecem atenção quanto ao seu potencial como indicadores de processos dinâmicos do solo, como o estoque de carbono e a agregação, aspectos importantes do ponto de vista conservacionista. Entretanto, o impacto dos sistemas de cultivo de macieiras sobre a ecologia dos FMAs ainda não é conhecido em solos brasileiros. Definir a contribuição destes microrganismos em sistemas convencionais e orgânicos depende de entender-se as modificações que ocorrem em sua atividade e diversidade. A necessidade destas informações reside em alternativas para otimizar a atividade micorrízica contribuindo para a sustentabilidade do sistema. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a atividade, diversidade e aspectos bioindicadores e funcionais das comunidades

de FMAs em um pomar convencional, um orgânico e um campo nativo em Santa Catarina. O primeiro capítulo desta dissertação compreende a caracterização da atividade, diversidade de FMAs e atributos químicos das três áreas estudadas. No segundo capítulo, aplicou-se a análise multivariada sobre estas variáveis para identificar quais delas foram os melhores indicadores de alterações da qualidade do solo. Já o terceiro capítulo aborda as relações da atividade micorrízica com a estruturação do solo da região.

REFERENCIAL TEÓRICO

1. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MAÇÃ (**MALUS DOMESTICA BROKH**)

A adoção de práticas de cultivo orgânico vem assumindo crescente importância, visto os benefícios promovidos pela minimização do uso de insumos químicos, maior retenção de matéria orgânica e aumento da atividade microbiológica no solo (WERNER, 1997; GOH, 2001). Estes aspectos agregam valores ambientais, ao preservarem importantes características do sistema edáfico, e ao mesmo tempo conferem aos produtos maior preferência de consumo pela população humana.

Segundo a Instrução Normativa 007/99, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, considera-se sistema orgânico de produção agropecuária e industrial:

“Todo aquele em que se adotam tecnologias que otimizem o uso dos recursos naturais e socioeconômicos, que envolva o uso respeitando a integridade cultural e tendo por objetivo a auto-sustentação no tempo e no espaço, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energias não-renováveis e a eliminação do emprego de agrotóxicos e outros insumos artificiais tóxicos, organismos geneticamente modificados (OGM)/transgênicos ou radiações ionizantes em qualquer fase do processo de produção, armazenamento e de consumo, e entre os mesmos privilegiando a preservação da saúde ambiental e humana, assegurando a transparência em todos os estágios da produção e da transformação.”

Atualmente cerca de 23 milhões de hectares são manejados organicamente a nível mundial, o que representa pouco menos de 1% do total das terras agrícolas. No

Brasil, este número era de 275.576 ha no ano de 2001, correspondendo a 0,08% das terras agrícolas (YUSSEFI & WILLER, 2003). O comércio de produtos orgânicos movimenta a nível mundial cerca de US\$ 30 a 40 bilhões por ano, e no Brasil, entre US\$ 220 a 300 milhões (ORMOND *et al.*, 2002).

Além de impulsionar um importante setor da economia, os sistemas orgânicos de produção reduzem os impactos ambientais observados em sistemas convencionais pela maior utilização dos resíduos vegetais e animais, e adoção de rotação de culturas e do controle biológico de pragas e doenças (AMBROSANO, 1999; GLIESSMAN, 2001).

Dentre as culturas produzidas no Brasil usando sistema orgânico, a maçã (*Malus domestica* Brokh) ocupa destaque nos Estados de SC e RS com 60% e 36% da produção, respectivamente. No período de 2002/2003, SC respondeu por 57% da safra nacional (475.095 toneladas), possuindo 54% de toda área cultivada com maçã no país – cerca de 17.950 hectares (INSTITUTO CEPA/SC, 2003). No sistema convencional, esta cultura apresenta alto custo de produção pela necessidade de manter-se níveis adequados de fertilidade do solo e do controle fitossanitário. Além disso, a sociedade e os produtores vêm questionando a sustentabilidade deste sistema devido à contaminação das águas, presença de resíduos químicos nos frutos e o risco de saúde para os trabalhadores ao aplicarem pesticidas (MEURER *et al.*, 2000). Em sistemas de produção orgânica, estes riscos são minimizados ou eliminados. Além disso, a adição de resíduos orgânicos contribui para a melhoria da qualidade do solo afetando a estocagem e transformação dos nutrientes e estimulando os processos biológicos no solo responsáveis pela agregação, o que aumenta sua resistência à degradação física (TISDALL & OADES, 1982).

2. QUALIDADE DO SOLO E INDICADORES BIOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE MAÇÃS.

O conjunto de tecnologias adotadas na agricultura orgânica baseiam-se no princípio da fertilidade do solo como função direta do seu conteúdo de matéria orgânica (ORMOND *et al.*, 2002), que desencadeia processos biológicos necessários para a conservação do solo e manutenção da sua qualidade (ALTIERI, 1999). Ao trabalhar com pomares sob manejo convencionais e convertidos organicamente, WERNER (1997) observou menor densidade do solo no sistema orgânico, o que indica maior porosidade e aeração, necessárias para os processos biológicos. Este mesmo autor observou que a densidade de minhocas no sistema orgânico (200 m^{-2}) foi aproximadamente 2,5 vezes superior à observada no sistema convencional. Estas duas características, segundo o autor, parecem refletir adequadamente as mudanças do solo em função das alterações do manejo do solo expressas diretamente pelo maior conteúdo de matéria orgânica.

Em estudo com objetivos semelhantes aos de WERNER (1997), GLOVER *et al.* (2000) avaliaram, além de sistemas orgânicos e convencionais, pomares sob sistemas integrados – sistemas que combinam métodos de cultivo convencional e orgânico, a fim de otimizar a qualidade ambiental e o valor agregado economicamente. Para caracterizar as três áreas de estudo, os autores trabalharam com um índice de qualidade de solo, que considera a contribuição das seguintes características: entrada de água, resistência à degradação, transferência e absorção de água e sustentabilidade do crescimento vegetal. O sistema integrado apresentou o maior índice de qualidade do solo (0,92), seguido pelos sistemas orgânico (0,88) e convencional (0,78). Entre as propriedades químicas agregadas ao índice de qualidade, destaca-se a quantidade de fósforo extraível na profundidade de 7,5 a 15cm, que foi de $47,9\text{ kg ha}^{-1}$ no sistema

integrado, 37,0 kg ha⁻¹ no sistema orgânico e 33,5 kg ha⁻¹ no sistema convencional. A quantidade de nitrogênio total comportou-se da mesma maneira, exibindo valores decrescentes de 1.276, 1.070 e 1.041 kg ha⁻¹ nos três respectivos sistemas. Finalmente, os sistemas orgânico e integrado apresentaram densidade de minhocas 3 e 6 vezes maiores que a encontrada no sistema convencional, respectivamente.

Outro estudo em pomares de macieira, coordenado por GOH (2001) na Nova Zelândia, confirma os benefícios do sistema orgânico para a melhoria da qualidade do solo. Estes efeitos foram pronunciados em termos físicos, químicos e biológicos, proporcionando maior quantidade de matéria orgânica, menor densidade do solo, maior taxa de infiltração de água e aumento da população edáfica. Em um dos pomares orgânicos estudados, por exemplo, a densidade do solo na camada de 0 a 7,5 cm foi de 1,34 g cm⁻³, enquanto no pomar convencional ela foi de 1,47 g cm⁻³. Já em outros dois diferentes pomares, porém cultivados sobre o mesmo tipo de solo, a taxa de infiltração do sistema convencional foi de 6,5 mm h⁻¹, aumentando para 51,8 mm h⁻¹ no pomar orgânico.

Estes dados ressaltam a importância de aliarem-se diferentes técnicas de cultivo em busca de uma nova percepção de produtividade e sustentabilidade que levem em consideração os componentes bióticos do solo. Nos estudos realizados até o momento, observa-se a ausência de avaliação de outro componente biótico de destaque em solos ácidos, os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Estes fungos estabelecem associação mutualística com a maioria dos vegetais, formando a associação micorrízica arbuscular (MARK & BRYAN, 1975). Estudos sobre os seus benefícios para a macieira têm revelado que esta espécie possui uma forte dependência micorrízica (COVEY *et al.*, 1981; KOCH *et al.*, 1982), sendo beneficiada com maior crescimento e melhoria do estado nutricional, aumentando principalmente a absorção de fósforo e em alguns casos

outros elementos pouco móveis no solo como zinco e cobre (HOEPFNER *et al.*, 1983; GEDDEDA *et al.*, 1984; GNEKOW & MARSCHNER, 1989). Devido à complexidade de interações que ocorrem entre os simbiontes e o meio, os FMAs refletem sensivelmente alterações de ordem ambiental, consistindo em bons indicadores biológicos em pomares de macieira (SWEZEY *et al.*, 1998). Estudos de tal natureza, que envolvem grande complexidade ecológica, devem contemplar ferramentas estatísticas capazes de distinguir fatores determinantes para a diferenciação dos sistemas. O uso da análise canônica discriminante (ACD) contempla estas necessidades ao permitir análises simultâneas das múltiplas quantificações de atributos que estão sendo avaliados (HAIR *et al.*, 1987).

A ACD é trabalhada com base em funções canônicas discriminantes (FCDs), as quais combinam linearmente as variáveis estudadas minimizando a variação dentro de cada tratamento e maximizando-a entre eles (CRUZ-CASTILHO *et al.*, 1994). A contribuição de cada variável para o estabelecimento das FCDs pode ainda ser avaliada através do coeficiente canônico homogeneizado, que designa quais variáveis promovem efetivamente a diferenciação dos tratamentos (CRUZ-CASTILHO *et al.*, 1994). Por estas características, a ACD vem se mostrando um recurso promissor na escolha de indicadores químicos e biológicos em sistemas agrícolas e naturais, recebendo atenção crescente de pesquisadores nacionais (ALBUQUERQUE, 2003; AMARANTE *et al.*, 2004; BARETTA, 2004; SANTOS *et al.*, 2004) e internacionais (ARMITAGE, 1986; PIRES DA MAJER *et al.*, 1992; PIRES DA SILVA *et al.*, 2001).

3. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMAs) EM SISTEMAS CONVENCIONAIS E ORGÂNICOS.

As comunidades de FMAs são freqüentemente alteradas em função das práticas agrícolas. No caso do monocultivo observa-se redução da diversidade de espécies, da taxa de colonização radicular e da esporulação em culturas armadilhas, quando comparado à rotação de culturas (OEHL *et al.*, 2003). Já em sistemas orgânicos de produção, observa-se aumento da diversidade quando comparados a sistemas convencionais (FRASER *et al.*, 1988; OEHL *et al.*, 2003). PEREIRA *et al.* (1998) levantou maior diversidade de espécies em cafeeiros orgânicos, sendo que das oito espécies levantadas, duas estiveram ausentes no cafeeiro convencional: *Gigaspora margarita* e *Scutellospora heterogama*. No caso de algumas culturas, entretanto, aumentos na diversidade não são observados em períodos relativamente curtos. FOCCHI *et al.* (2004) não observaram diferenças entre a riqueza de espécies de FMAs em pomares convencionais e orgânicos de citros com 13 anos de idade. FRANKE-SNYDER *et al.* (2001) também não encontraram diferenças entre índices ecológicos mesmo após 15 anos consecutivos de manejo convencional e orgânico de culturas de milho e soja. Uma hipótese sugerida pelos autores é que a alta disponibilidade de fósforo (média 160 a 185 mg kg⁻¹) possa ter mascarado possíveis diferenças em função do manejo, uma vez que este nutriente na maioria das vezes é determinante para a ocorrência de algumas espécies de FMAs.

Aumentos na esporulação dos FMAs também foram observados em cultivos orgânicos. KURLE & PFLEGER (1994) observaram que o plantio convencional de milho e soja reduziu a esporulação de FMAs se comparado à produção orgânica de 293 para 174 esporos g⁻¹ solo. Segundo estes autores, este pode ser um efeito direto, promovido pelo aumento de matéria orgânica no solo, ou indireto, oriundo da diferente composição vegetal dos sistemas alterada pelo uso de herbicidas. Ao estudarem os efeitos do cultivo orgânico e convencional sobre as populações de FMAs, DOUDS *et*

al. (1995) também registraram diferenças no número de esporos. Nas áreas de cultivo orgânico com cobertura de gramíneas, foram registrados aproximadamente 57 esporos da espécie *Paraglomus occultum* e 7 da espécie *Gigaspora gigantea*. Já nas áreas de cultivo convencional, este número foi reduzido para 22 e 0, respectivamente.

Outro aspecto importante é a variação do potencial de inóculo de FMAs, ou seja, a capacidade que o solo possui de promover colonização micorrízica de uma determinada espécie vegetal em função do uso do solo. DOERR *et al.* (1984) desenvolveram um estudo a respeito do potencial de inóculo em função dos distúrbios provocados no solo. Com a remoção da cobertura vegetal e escarificação do solo a uma profundidade média de 30 centímetros, o potencial decaiu de 65% para 44,5% em apenas 1 ano. Torna-se claro, portanto, que práticas agrícolas que não conservem cobertura vegetal no solo contribuem para a diminuição de sua fertilidade.

Em relação ao micélio de FMAs no solo, os estudos tem enfatizado a produção de hifas em função da fertilidade do solo. MILLER *et al.* (1995), verificaram uma correlação negativa entre micélio e fósforo disponível ($r = -0,42$; $p < 0,0001$) em áreas de pastagem e pradarias, evidenciando que certos níveis de P podem inibir a produção de hifas, situação que provavelmente ocorre também em sistemas agrícolas que requerem adubação fosfatada.

No Brasil, um ensaio em casa de vegetação revelou a menor colonização e menor produção de micélio externo com o aumento das doses de P no solo (NOGUEIRA *et al.*, 1998). Pode-se também observar diferenças de valores em função da espécie de FMA. Na ausência de P aplicado, *Glomus intraradices* apresentou comprimento de micélio externo total aproximadamente 45% maior que *Gigaspora margarita*, o que refletiu em uma menor eficiência micorrízica para a segunda espécie quando em associação com a soja.

Em sistemas orgânicos de produção, os níveis de fósforo no solo são menores que nos convencionais (WATSON *et al.*, 2002), o que normalmente favorece de maneira positiva a colonização e produção de micélio (ALLEN *et al.*, 1981). Entretanto, ainda há uma grande lacuna no entendimento da participação dos FMAs em sistemas de produção de maçãs, especialmente em solos brasileiros, já que os trabalhos desenvolvidos até o momento foram realizados em outros países, principalmente nos Estados Unidos. MILLER *et al.* (1985) realizaram um estudo exploratório a respeito da associação de FMAs com macieiras em 18 diferentes localidades dos Estados Unidos, descrevendo a ocorrência de espécies, sua porcentagem e intensidade de colonização. A partir deste trabalho, pôde-se ter uma idéia da distribuição e associação destes microrganismos ao longo de diferentes condições de fertilidade e variações de clima observadas naquele país.

Em estudo subsequente, SWEZEY *et al.* (1998), estudaram os efeitos da colonização micorrízica em solos de pomares de maçã convertidos do sistema convencional para o orgânico na Califórnia (EUA). Dentre cinco épocas estudadas ao longo de 1 ano, o sistema orgânico apresentou os maiores valores de colonização em quatro delas, o que parece refletir o aumento da participação dos FMA na nutrição das plantas nestes sistemas, que apresentaram baixos níveis de fósforo disponível.

WERNER (1997), por outro lado, encontrou níveis semelhantes de fósforo em sistemas orgânicos e convencionais que estudou na Califórnia. Mesmo assim, a colonização micorrízica das macieiras foi em média 20% maior nos pomares orgânicos, o que pode ser atribuído ao maior crescimento vegetal observado nestes pomares ou ainda à ausência de distúrbios provocados pelo uso de pesticidas.

Sabendo-se que alguns sistemas podem ou não apresentar diferenças na composição da comunidade micorrízica, é necessário avaliar o aspecto funcional dos

FMAs dentro das áreas estudadas e seu papel ecológico na conservação do solo, o que os destaca dentro da estruturação dos sistemas. Este enfoque ainda não foi explorado em solos agrícolas brasileiros, onde a grande complexidade de interações biológicas certamente apresenta uma participação funcional ímpar.

4. ASPECTOS FUNCIONAIS DE FMAS EM SISTEMAS NATURAIS E AGRÍCOLAS

4.1. AÇÃO DO MICÉLIO

Além da participação dos FMAs na nutrição e no crescimento das plantas, há uma outra função que ainda não está totalmente esclarecida, e nem sequer explorada em solos ácidos. Além de absorver os nutrientes do solo, o micélio também participa de um processo extremamente importante na conservação do solo, a agregação (MILLER *et al.*, 1995). A contribuição do micélio para este processo ocorre em três etapas: a primeira envolve o crescimento das hifas extra-radiculares através do solo, criando uma espécie de estrutura de sustentação que mantém unidas as partículas através do efeito físico (TISDALL & OADES, 1979; GUPTA & GERMIDA, 1988). Na segunda etapa, as partículas minerais e orgânicas são mantidas fisicamente unidas pelas hifas de tal modo que os microagregados podem ser formados (TISDAL & OADES, 1982; EMERSON *et al.*, 1986). Estas partículas são cimentadas através da ação de agentes ligantes tais como polissacarídeos e cátions polivalentes, que formam complexos com a argila e a matéria orgânica (GUPTA & GERMIDA, 1988). Na terceira e última etapa, os microagregados são fisicamente unidos pelas hifas e raízes, criando uma estrutura macroagregada que poderá ainda ser estabilizada pela cimentação com polissacarídeos

e outros componentes orgânicos (ELLIOTT & COLEMAN, 1988; GUPTA & GERMIDA, 1988).

Nos solos arenosos, especialmente, a ação do micélio é importante para manter os macroagregados unidos, possibilitando sua imobilização e posterior ligação das partículas intermediada por componentes orgânicos (READ, 1989; FORSTER & NICOLSON, 1981). Entretanto, estes agregados podem ser degradados à medida que são criados, devido à rápida decomposição das hifas e do uso de práticas que reduzem o crescimento radicular e, conseqüentemente, o crescimento do micélio (TISDAL & OADES, 1982).

Em solos brasileiros, existe apenas um estudo sobre a ação do micélio na agregação do solo. NOBREGA *et al.* (2001) trabalharam com dois solos: um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e um Latossolo Vermelho distroférreo (LVdf) no estado de Minas Gerais, avaliando os efeitos do uso do solo, doses de fósforo, espécies cultivada e inoculação com *Glomus etunicatum* sobre a estabilidade dos agregados. Os efeitos destes fatores sobre o diâmetro médio geométrico (DMG) foi variável de acordo com o tipo de solo e espécie vegetal. No caso da braquiária cultivada em LVdf com 300 mg kg⁻¹ de P adicionado ao solo, o DMG foi de aproximadamente 3,00 mm, não havendo colonização micorrízica. Já com a adição de apenas 30 mg kg⁻¹ de P, o DMG aumentou para 3,25 mm e a colonização das raízes foi de 30%, o que reflete o efeito da proliferação do micélio sobre a agregação do solo. No mesmo solo, o cultivo do solo não refletiu em mudanças nos valores de DMG para a braquiária, ao contrário do observado para a soja. De acordo com os autores, estes dados apontam para uma maior eficiência do sistema radicular de gramíneas que o de leguminosas na manutenção da estabilidade do solo frente aos distúrbios observados.

Efeitos promovido pelo hospedeiro vegetal também são determinantes na produção de hifas e, consequentemente, na agregação do solo. RILLIG *et al.* (2002) avaliaram o efeito do plantio de 5 espécies vegetais sobre a estabilidade de agregados de 2 a 1 mm em solos da Califórnia. *Amsinckia douglasiana* promoveu o menor valor de estabilidade, cerca de 72%, enquanto a gramínea *Taeniatherum caput-medusae* teve melhor efeito para a agregação: 85%, confirmando registros prévios de TISDALL & OADES (1979) sobre a maior eficiência de gramíneas que outras espécies sobre a estabilidade do solo. O comportamento destas espécies também foi semelhante ao quantificar-se a produção de micélio: enquanto na rizosfera de *Amsinckia douglasiana* o comprimento de hifas foi de 3 m g^{-1} , na de *Taeniatherum caput-medusae* esta média foi de 6 m g^{-1} , valores que também tiveram correlações positivas com a estabilidade dos agregados.

Porém, nem sempre as espécies de FMAs que produzem maior comprimento de micélio são as responsáveis por maiores índices de agregação. PIOTROWSKY *et al.*, (2004) registraram que as espécies da família *Gigasporaceae* tiveram maior comprimento de micélio que as de outras famílias, porém foram as que ocasionaram menor índice de estabilidade de agregados em solos do Canadá. Isto é devido ao fato de que apenas o comprimento pode não ser responsável pela estabilidade, e sim a distribuição espacial do micélio no solo (FRIESE & ALLEN, 1991).

4.2. AÇÃO DA GLOMALINA

Além de possuírem ação agregante já descrita no item anterior, as hifas também produzem um tipo específico de proteína no solo, denominada de glomalina, descoberta por WRIGHT e seus colaboradores em 1996. Atuando no processo de cimentação, a glomalina age como um ligante orgânico que é depositado na superfície

dos agregados, criando uma espécie de “selamento”. Assim, a parte interior é protegida por esta proteína hidrofóbica contra a ação da água, que atua como desestabilizadora do solo.

A glomalina é um termo geral utilizado para esta proteína, porém de acordo com os diferentes processos de extração e quantificação pode-se designar quatro frações (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998):

1) Glomalina Facilmente Extraível (GFE): obtida com extrator de baixa molaridade (citrato de sódio 20mM pH 7,0) e apenas um ciclo curto de autoclavagem (30 minutos, 121°C). A GFE representa a proteína mais recentemente produzida e também mais suscetível à atividade de decomposição por estar concentrada predominantemente na superfície dos agregados.

2) Glomalina Total (GT): obtida com extrator de alta molaridade (citrato de sódio 50mM, pH 8,0) e ciclos sucessivos de autoclavagem (121°C, 60 minutos). Representa a quantidade total de proteína no solo, tanto na superfície como no interior dos agregados.

3) Glomalina Facilmente Extraível Imunoreativa (GFEI): parte da fração 1 que exibe imuno-reatividade com o anticorpo Mab 32B11, indicando assim a quantidade de GFE que apresenta efetivamente atividade biológica no solo.

4) Glomalina Total Imunoreativa (GTI): parte da fração 2 que exibe imuno-reatividade com o anticorpo Mab 32B11, indicando assim a quantidade de GT que apresenta efetivamente atividade biológica no solo.

Desde a descoberta da glomalina, diversos trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos, principalmente nos Estados Unidos, onde se encontram os núcleos de tais pesquisadores. Logo após 1996, os trabalhos concentraram-se em aprofundar a relação da estabilidade de agregados do solo com a glomalina, revelando uma relação

curvilinear entre estas duas variáveis. Ao trabalharem com glomalina total, facilmente extraível e imunoreativa destas duas frações, WRIGHT & UPADHYAYA (1998) verificaram altos coeficientes de correlação com a estabilidade de agregados. A quantidade de glomalina facilmente extraível e imunoreativa, estiveram fortemente associadas a valores de estabilidade de agregados menores ou iguais a 80% para solos de clima temperado ($r^2 = 0,95$), o que em prática pode significar uma grande diminuição da perda de solo através de processos erosivos. Este valor de estabilidade de 80% também ficou conhecido como um limite a partir do qual eventuais acúmulos de glomalina não refletem aumentos na estabilidade do solo segundo as condições estabelecidas neste estudo para solos norte-americanos. Para solos ácidos em regiões de clima tropical, entretanto, ainda não há conhecimento destas relações.

Em seqüência, WRIGHT *et al.* (1999) estudaram as relações entre a estabilidade de agregados e glomalina em áreas cultivadas, avaliando o impacto de fatores como cultivo mecânico e quantidade de carbono do solo sobre a produção de glomalina e a agregação. Neste estudo as áreas nativas com predominância de festuca apresentaram estabilidade dos agregados de 53,2% na camada de 0 a 5 cm, enquanto nas áreas com cultivo de milho e revolvimento do solo houve redução na estabilidade de agregados para 16,7%. Os teores de GFE, GT, GFEI e GTI apresentaram alta correlação com a estabilidade de agregados, confirmando a contribuição desta proteína para a agregação.

A glomalina também apresenta alta correlação com a fração orgânica do solo em sistemas agrícolas como inicialmente verificado por WRIGHT & UPADHYAYA (1996), onde a Glomalina Total relacionou-se fortemente com o C do solo ($r^2 = 0,84$). FRANZLUEBBERS *et al.* (2000) confirmaram a correlação positiva da GT com o conteúdo de Carbono Orgânico Total ($r = 0,90$; $p < 0,001$) e Carbono Orgânico

Particulado ($r = 0,88$; $p < 0,001$), o que reflete mais uma forma de contribuição da proteína para a qualidade do solo.

Reconhecida a importância e sensibilidade da glomalina frente a alterações no manejo do solo, WRIGHT & ANDERSON (2000) avaliaram também alguns sistemas agrícolas sob rotação de culturas nos Estados Unidos, procurando indícios de quais seriam as melhores formas de manejo para promover a produção de glomalina e, consequentemente, evitar perdas de solo por erosão em um Chernossolo. Ao utilizar-se rotação de culturas com trigo, milho e painço e não revolver-se o solo por 8 anos, a quantidade de glomalina total foi de $2,9 \text{ mg g}^{-1}$. Por outro lado, com o monocultivo de triticale e revolvimento do solo por um período de 6 anos este valor decaiu para $1,5 \text{ mg g}^{-1}$. A estabilidade de agregados com 1 a 2 mm de diâmetro apresentou comportamento semelhante, com valores de 12,6 e 7,3% para os dois sistemas, respectivamente.

A participação do micélio e da glomalina no processo de agregação foi mais profundamente explorada por RILLIG & STEINBERG, em 2002, revelando um fator regulatório muito interessante: o diâmetro das partículas do solo. Simulando-se *in vitro* um solo não agregado (partículas com diâmetro menor que 106 mm), portanto com porosidade desfavorável para o crescimento e expansão de micélio, há uma produção de $24,1 \cdot 10^{-6} \text{ g g}^{-1}$ de glomalina facilmente extraível (GFE) e de 0,82 m de hifas. Por outro lado, em um solo bem agregado, com partículas da ordem de 710 a 1180 mm de diâmetro, a quantidade de GFE foi de apenas $6,8 \cdot 10^{-6} \text{ g g}^{-1}$, enquanto o comprimento de micélio aumentou para 4,97 m. Este trabalho corroborou fortemente a hipótese da modificação de habitats promovida pelos FMAs, comprovando seu papel ecológico na conservação do solo. Bons níveis de agregação têm importantes consequências oriundas da proteção física do carbono dentro dos agregados. A conservação da matéria

orgânica no sistema edáfico, que influencia a capacidade de estocagem de nutrientes e de retenção de água. Além disso, a estabilidade da glomalina do solo é superior à das hifas. STEINBERG & RILLIG (2003), em estudo sobre a resistência à decomposição durante um período aproximado de 150 dias, registraram que o comprimento de micélio diminuiu aproximadamente 60% em relação ao valor inicial, enquanto os valores de glomalina total diminuíram somente 25%.

Em solos onde a matéria orgânica não representa o principal agente de agregação, entretanto, não se observam relações entre nenhuma das quatro frações de glomalina e estabilidade de agregados, apesar de haverem forte correlações entre esta proteína e o conteúdo de matéria orgânica do solo (RILLIG *et al.*, 2003). Portanto, a dinâmica desta proteína parece ser influenciada pelo tipo de solo e suas características químicas, que podem variar tanto em função do grau de intemperismo como também pelo histórico de uso (RILLIG *et al.*, 2001). Sabe-se que a maioria dos sistemas alterados antropicamente apresenta condições desfavoráveis para o crescimento de FMAs, e portanto sua participação nos processos de agregação pode ser comprometida.

Em solos ácidos, entretanto, a quase totalidade destes aspectos ainda permanece sem elucidação, já que os dois trabalhos desenvolvidos em solo deste tipo contemplaram apenas a relação da glomalina com os estoques de carbono e outros nutrientes do solo. O primeiro deles foi conduzido por RILLIG e seus colaboradores (2001) em solos do Hawaii, onde observaram a maior concentração de glomalina verificada até hoje, de 60 mg g^{-1} , em um solo com idade estimada de 4,1 milhões de anos. Nestas condições, o conteúdo de C e N da proteína responderam por cerca de 4 a 5% dos valores totais destes dois nutrientes no solo. Em contrapartida, a contribuição do C da biomassa microbiana foi muito menor, variando de 0,08 a 0,2%.

Já em 2004, LOVELOCK *et al.* trabalharam com glomalina em solos tropicais da Costa Rica, encontrando valores médios de $3,94 \text{ mg g}^{-1}$ de GT e $1,68 \text{ mg g}^{-1}$ de GFE. Nesta situação, o carbono contido na GT contribuiu com aproximadamente 3,2% do conteúdo de carbono orgânico total na camada de 0 a 10 cm de solo, destacando a relação entre estes dois atributos também em um solo tropical ($r = 0,604$; $P < 0,05$). Os autores também estabeleceram correlações entre glomalina e características relacionadas à fertilidade do solo. As concentrações de GFE e GT correlacionaram-se positivamente com valores de carbono, alumínio e ferro, e negativamente com valores pH, fósforo, cálcio e manganês no solo. Para os autores, o maior acúmulo de glomalina em solos menos férteis pode estar relacionado à menor taxa de decomposição e maior complexação de compostos orgânicos observada nestes ambientes quando comparados à solos férteis. Dentro deste raciocínio, a concentração de glomalina em solos tropicais altamente intemperizados seria bem maior que em solos jovens de clima temperado.

Desta maneira, percebe-se que ainda não existe nenhum trabalho que retrate os aspectos funcionais dos FMAs em solos ácidos sob condições de ambiente tropical. No Brasil, esta dissertação é o primeiro trabalho realizado sobre este aspecto, contemplando o efeito dos sistemas de produção de maçãs. Dada a importância da microbiota edáfica na promoção de sustentabilidade em agrossistemas, torna-se essencial pesquisar-se sua relação como agente estruturador do solo e também como bioindicadora da qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânicos e convencionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P.P. Aspectos ecológicos de populações de fungos micorrízicos arbusculares em reflorestamentos e em mata nativa de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Lages, SC, UDESC, 2003. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

ALLEN, M.F.; SEXTON, J.C.; MOORE, T.S.J.; CHRISTENSEN, M. Influence of phosphate source on vesicular-arbuscular mycorrhizae of *Bouteloua gracilis*. **New Phytologist**, 87: 687-694, 1981.

ALTIERI, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 74: 19-31, 1999.

AMARANTE, C.V.T.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; MERTZ, L.M.; COSTA, A. Análise multivariada de atributos físicos e químicos do solo em pomares de macieira conduzidos nos sistemas de produção orgânico e convencional. In: FERTBIO 2004, Lages, 2004. Resumos expandidos. Lages, SBCS/SBM/CAV-UDESC, 2004. CD-ROM.

AMBROSANO, E. **Agricultura Ecológica**. Guaíba – RS : Agropecuária, 1999. 398p.

ARMITAGE, A.M. Evaluation of new floricultural crops: A systems approach. **HortScience**, 21: 9-11, 1986.

BARETTA, D. **Atributos biológicos do solo em diferentes agroecossistemas na região sul do Brasil**. Lages, SC, UDESC, 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

COVEY, R.P.; KOCH, B.L.; LARSEN, H.J. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizae on the growth of apple and corn in low-phosphorus soil. **Phytopathology**, 71: 712-715, 1981.

CRUZ-CASTILHO, J.G.; GANESHANANDAM, S.; MACKAY, B.R.; LAWES, G.S.; LAWOKO, C.R.O.; WOOLEY, D.J. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 29 (10): 1115-1119, 1994.

DOERR, T.B.; REDENTE, E.F.; REEVES, F.B. Effects of soil disturbance on plant succession and levels of mycorrhizal fungi in a sagebrush-grassland community. **Journal of Range Management**, 37 : 135-139, 1984.

DOUDS, D. D.; GALVEZ, L.; JANK, R. R.; WAGONER, P. Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 52: 111-118, 1995.

ELLIOT, E.T.; COLEMAN, D.C. Let the soil work for us. **Ecological Bulletins**, 39: 23-32, 1988.

EMERSON, W.W.; FOSTER, R.C.; OADES, J.M. Organomineral complexes in relation to soil aggregation structure. In HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Eds.). **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**, Soil Science Society of America, Madison, WI, 1986. pp. 521-548.

FOCCHI, S.S.; DAL SOGLIO, F.K.; CARRENHO, R.; SOUZA, P.V.D.; LOVATO, P.E. Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39 (5): 469-476, 2004.

FORSTER, S.M.; NICOLSON, T.H. Aggregation of sand from a maritime embryo sand dune by microrganisms and higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**, 13:199-203, 1981.

FRANKE-SNYDER, M.; DOUDS JR., D.D.; GALVEZ, L.; PHILIPS, J.G.; WAGONER, P.; DRINKWATER, L.; MORTON, J. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. **Applied Soil Ecology**, 16: 35-48, 2001.

FRANZLUEBBERS, A.J.; WRIGHT, S.F.; STUDEMANN, J.A. Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA. **Soil Science Society of America Journal**, 64: 1018-1026, 2000.

FRASER, D.G.; DORAN, J.W.; SAHS, W.W.; LESOING, G.W. Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. **Journal of Environmental Quality**, 17: 585-590, 1988.

FRIESE, C.F.; ALLEN, M.F. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in soil: inoculum types and external hypahl architecture. **Mycologia**, 83: 409-418, 1991.

GEDDEDA, Y.I.; TRAPPE, J.M.; STEBBINS, R.L. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae and phosphorus on apple seedlings. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 109: 24-27, 1984.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia** – processos ecológicos em agricultura sustentável. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 80: 29-45, 2000.

GNEKOW, M.A.; MARSCHNER, H. Role of VA-mycorrhiza in growth and mineral nutrition of apple (*Malus pulmila* var. *domestica*) rootstock cuttings. **Plant and Soil**, 119:285-293, 1989.

GOH, K.M.; PEARSON, D.R.; DALY, M.J. Effects of apple orchard production systems on some important soil physical, chemical and biological quality parameters. **Biological Agriculture and Horticulture**, 18: 269-292, 2001.

GUPTA, V.V.S.R.; GERMIDA, J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, 21: 777-786, 1988.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Multivariate data analysis with readings**. Macmillan, New York, 1987.

HOEPFNER, E.F.; KOCH, B.L.; COVEY, R.P. Enhancement of growth and phosphorus concentrations in apple seedlings by vesicular-arbuscular mycorrhizae. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, 108:207-209, 1983.

INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATARINA (ICEPA). Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2003. Florianópolis, 2003.

KOCH,B.L.; COVEY, R.P.; LARSEN, H.J. Response of apple seedlings in fumigated soil to phosphorus and vesicular-arbuscular mycorrhiza. **HortScience**, 17: 232-233, 1982.

KURLE, J.E.; PFLEGER, F.L. Arbuscular mycorrhizal fungus spore populations respond to conversions between low-input and conventional management practices in a corn-soybean rotation. **Agronomy Journal**, 86 (3): 467-475, 1994.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; CLARK, D.A.; RUESS, R.W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, 92: 278-287, 2004.

PIRES DA MAJER, J.D.; RECHER, H.F.; GANESHANANDAM, S. Variation in foliar nutrients in Eucalyptus trees in eastern and western Australia. **Australian Journal of Ecology**, 17: 383-393, 1992.

MARK, D.H.; BRYAN, W.C. Growth and actomycorrhizal development of loblolly pine seedlings in fumigated soil infested with the fungal symbiont *Pisolithus tinctorius*. **Forest Science**, 1: 145-254, 1975.

MEURER, E.J.; BISSANI, C.A.; SELBACH, P.A. Poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E.J. (Ed). **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p. 151-167.

MILLER, D.D.; DOMOTO, P.A.; WALKER, C. Mycorrhizal fungi at eighteen apple rootstock plantings in the United States. **New Phytologist**, 100 (3): 379-391, 1985.

MILLER, R.M.; REINHARDT, D.R.; JASTROW, J.D. External hyphal production of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in pasture and tallgrass prairie communities. **Oecologia**, 103 : 17-23, 1995.

NOBREGA, J.C.A.; LIMA, J.M.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MOTTA, P.E.F. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36 (11): 1425-1435, 2001.

NOGUEIRA, M.A.; PACOVSKY, R.S.; CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e sua relação com a eficiência simbiótica. In : FERTBIO (1998 : Caxambu). Anais... Caxambu : MG, 1998. p. 300.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. **Applied and Environmental Microbiology**, 69 (5): 2816-2824, 2003.

ORMOND, J.G.P.; LIMA DE PAULA, S.R.; FAVERET FILHO, P.; ROCHA, L.T. **Agricultura orgânica**: quando o passado é futuro. Rio de Janeiro: BNDES, 2002.

PEREIRA, J.C.; SILVA, E.M.R.; REIS, V.M.; RICCI, M.S. Populações microbianas do solo em cafeiro sob manejo convencional e orgânico. In : FERTBIO (1998 : Caxambu). Anais... Caxambu : MG, 1998. p. 300.

PIOTROWSKI, J.S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J.N.; GRAHAM, J.M.; RILLIG, M.C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. **New Phytologist**, 164 (2): 365-373.

PIRES DA SILVA, A.; IMHOFF, S.; GIAROLA, N.F.B.; ROMENA, C.A. Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos del centro de Santa Fe. **Edafología**, 8: 21-34, 2001.

READ, D.J. Mycorrhizas and nutrient cycling in sand dune ecosystems. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh**, 1989. pp. 89-110.

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

RILLIG, M.C.; STEINBERG, P.D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? **Soil Biology & Biochemistry**, 34: 1371-1374, 2002.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; EVINER, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant and Soil**, 238: 325-333, 2002.

RILLIG, M.C.; MAESTRE, F.T.; LAMIT, L.J. Microsite differences in fungal hyphal lenght, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology and Biochemistry**, 35: 1257-1260, 2003.

SANTOS, J.C.P.; BARETTA, D.; MANFROI, A.F.; AMARANTE, C.V.T.; BERTOL, I.; ALVES, M.V. O preparo e cultivo do solo influenciam na ocorrência dos principais grupos da fauna edáfica. In: FERTBIO 2004, Lages, 2004. Resumos expandidos. Lages, SBCS/SBM/CAV-UDESC, 2004. CD-ROM.

STEINBERG, P.D.; RILLIG, M.C. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology and Biochemistry** 35: 191-194, 2003.

SWEZEY, S.L.; WERNER, M.R.; BUCHANAN, M.; ALLISON, J. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. **American Journal of Alternative Agriculture**, 13(4): 162-180, 1998.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, 33 : 141-163, 1982.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, 17: 429-441, 1979.

WATSON, C.A.; ATKINSON, D.; GOSLING, P.; JACKSON, L.R.; RAYNS, F.W. Managing soil fertility in organic farming systems. **Soil Use and Management**, 18: 239-247, 2002.

WERNER, M.R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. **Applied Soil Ecology**, 5: 151-167, 1997.

WRIGHT, S.F.; ANDERSON, R.L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plain. **Biology and Fertility of Soils**, 31: 249-253, 2000.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, 161 (9): 575-586, 1996.

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

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

WRIGHT, S.F.; STARR, J.L.; PALTINEANU, I.C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, 63: 1825-1829, 1999.

YUSSEFI, M.; WILLER, H. **The world of Organic Agriculture 2003** – Statistics and Future Prospects. 5.ed. IFOAM, 2003. 130pp.

CAPÍTULO 1

**ATIVIDADE E DIVERSIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES
ASSOCIADOS A POMARES ORGÂNICOS E CONVENCIONAIS DE
MACIEIRA E CAMPO NATIVO NO SUL DO BRASIL.**

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a atividade e diversidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) em um pomar convencional e outro orgânico de maçã e campo nativo no município de Urupema – SC, sob um Cambissolo Húmico alumínico. Foram realizadas caracterizações biológicas e químicas nos meses de julho de 2003 (inverno) e janeiro de 2004 (verão). A implantação dos pomares reduziu o potencial de inóculo do solo, apesar de nestas áreas haver aumento do comprimento de micélio extra-radicular total promovido pela calagem. A colonização micorrízica das macieiras foi baixa e reduziu drasticamente no verão. A quantidade de glomalina facilmente extraível não mostrou diferenças em nenhuma das áreas e épocas avaliadas, com valores médios de $1,23 \text{ mg g}^{-1}$. Por outro lado, a quantidade de Glomalina Total (GT) foi menor no Pomar Convencional ($4,55 \text{ mg g}^{-1}$) que no Pomar Orgânico ($4,91 \text{ mg g}^{-1}$) e no Campo Nativo ($5,12 \text{ mg g}^{-1}$). O mesmo ocorreu para o Carbono Orgânico Total (COT): estas três áreas apresentaram valores de 36,1; 40,1 e $43,0 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. A GT e o COT estiveram fortemente correlacionados na área de Campo Nativo durante o inverno, destacando a importância desta proteína para o estoque de C no solo nativo da região. O Pomar Orgânico teve maior número de espécies de FMAs, mas a esporulação e os Índices de Diversidade de Simpson e de Shannon foram maiores no Pomar Convencional. As variáveis químicas indicaram maiores níveis de fertilidade no Pomar Convencional, porém explicaram uma parte muito pequena das variáveis biológicas e da abundância de espécies. De posse destes dados, destaca-se que o Pomar Convencional promoveu maiores impactos sobre a condição natural do solo, pois foi o sistema que mais sofreu perdas da fração orgânica (GT e COT) e mais alterou os padrões de dominância das espécies de FMAs.

ABSTRACT

The aim of this study was to characterize the activity and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in a conventional, an organic orchard and a native grassland located at Urupema– SC. Biological and chemical characterizations were carried out at July 2003 (winter) and January 2004 (summer). Implanting orchards reduced the inoculum potential of the soil, even having raises of hyphal length in this areas due to liming. Mycorrhizal colonization of apple trees was low, becoming drastically reduced in the summer. The amount of easily extractable glomalin was not different in any of areas and seasons evaluated, with mean values of 1.23 mg g^{-1} . On the other hand, the amount of total glomalin (TG) was smaller in the Conventional Orchard (4.55 mg g^{-1}) than in the Organic Orchard (4.91 mg g^{-1}) and Native Grassland (5.12 mg g^{-1}). The same occurred for Total Organic Carbon (TOC): these three areas had values of 36.12 , 40.12 and 42.98 g kg^{-1} , respectively. TG and TOC were strongly correlated in the Native Grassland during the winter, what shows us the importance of this protein for C stocks in the native soil of this region. The Organic Orchard had the highest number of AMF species, but sporulation, Simpson and Shannon Indexes were larger in the Conventional Orchard. The chemical variables indicated higher values of fertility in the Conventional Orchard, but explained just a very small part of biological variables and species frequency. According to these data, the Conventional Orchard promoted higher impacts on the natural condition of the soil, because this was the system that had larger losses of organic fraction (TG and TOC) and altered the patterns of dominance by AMF species.

1. INTRODUÇÃO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) destacam-se como componentes essenciais da biota do solo ao manterem interações ecológicas com a comunidade vegetal e o solo em sistemas naturais e agrícolas (GIANINAZZI & SCHÜEPP, 1994). Sua participação compreende aspectos como a redução do número e da ação de fitopatógenos e nematóides nas raízes das plantas (GUILLEMIN *et al.*, 1993; AZCON-AGUILAR & BAREA, 1996), maior absorção de nutrientes com baixa mobilidade, em especial o fósforo (SMITH & READ, 1997) e a formação de agregados estáveis no solo pela ação do micélio e da glomalina (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; MILLER & JASTROW, 2000). Por estas características da simbiose, percebe-se que os FMAs podem contribuir diretamente para a produtividade das culturas e para a melhoria da qualidade do solo, participando da sustentabilidade destes sistemas.

Pela sua participação na ecologia edáfica, as comunidades de FMAs são estudadas principalmente em sistemas agrícolas, onde a fertilização e o revolvimento promovem impactos negativos sobre a condição natural do solo (ALLEN *et al.*, 1981; DOUDS *et al.*, 1995; SWEZEY *et al.*, 1998). A otimização da atividade dos FMAs em alguns destes sistemas pode ser vista como uma alternativa ecologicamente sustentável no processo de nutrição das plantas, ciclagem de nutrientes e manutenção da diversidade dentro do sistema edáfico (VAN DER HEIJDEN *et al.*, 1998; BEVER *et al.*, 2001).

Alguns estudos demonstram que há maior número de esporos, inóculo e colonização micorrízica em solos onde são adotadas práticas conservacionistas se comparados aos dos sistemas convencionais de produção, indicando a valorização das comunidades de FMAs (LIMONARD & RUISSEN, 1989; DOUDS JR. *et al.*, 1993; KURLE & PFLEGER, 1994; OEHL *et al.*, 2003). Em sistemas convencionais, estas

diferenças podem ser atribuídas ao uso de herbicidas, que eliminam possíveis simbiontes (REGANOLD, 1987) e de fertilizantes minerais solúveis como o fosfato, que inibe a associação micorrízica (ALLEN *et al.*, 1981; DOUDS & SCHENCK, 1990). A produção de micélio e de glomalina também são aumentados com o manejo conservacionista de culturas agrícolas, melhorando a estruturação e contribuindo com os estoques de matéria orgânica do solo (WRIGHT *et al.*, 1999; FRANZLUEBBERS *et al.*, 2000)

Porém, estas respostas da comunidade de FMAs a manejos conservacionistas não são regra. No caso de algumas culturas produzidas sob cultivo orgânico, as alterações não são perceptíveis a curto prazo. Dois estudos recentes sobre diversidade de FMAs em sistemas convencionais e orgânicos demonstram não haver alterações da diversidade de espécies em função do manejo do solo, mesmo após uma década de cultivo de milho e soja (FRANKE-SNYDER *et al.*, 2001) e espécies de citros (FOCCHI *et al.*, 2004). Por basearem-se em características morfológicas dos esporos, que são unidades reprodutivas, os dados de diversidade não necessariamente refletem de maneira adequada a estrutura da comunidade (MORTON *et al.*, 1995). Desta maneira, é necessário realizar-se caracterizações que abranjam aspectos de atividade e diversidade taxonômica para que se conheça os efeitos dos sistemas de produção agrícola sobre as comunidades micorrízicas.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do manejo convencional e orgânico em pomares de maçã sobre a atividade e diversidade de FMAs no sul do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no município de Urupema (SC), localizado a uma altitude média de 1.425 metros. O município apresenta clima mesotérmico úmido (Cfb) segundo a classificação de Köppen. As temperaturas médias mensais para o período de 1 ano encontram-se na **Figura 1**.

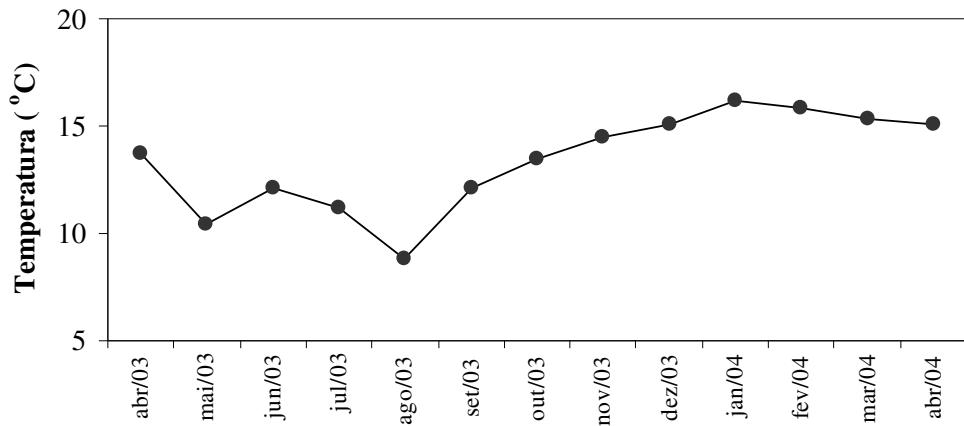


Figura 1. Temperaturas médias mensais (°C) registradas no município de Urupema – SC, no período de Abril de 2003 a Abril de 2004. Fonte: EPAGRI Urupema.

Os menores índices de precipitação pluviométrica foram registrados entre maio e setembro de 2003, e os maiores valores ocorreram entre outubro de 2003 e março de 2004 (**Figura 2**).

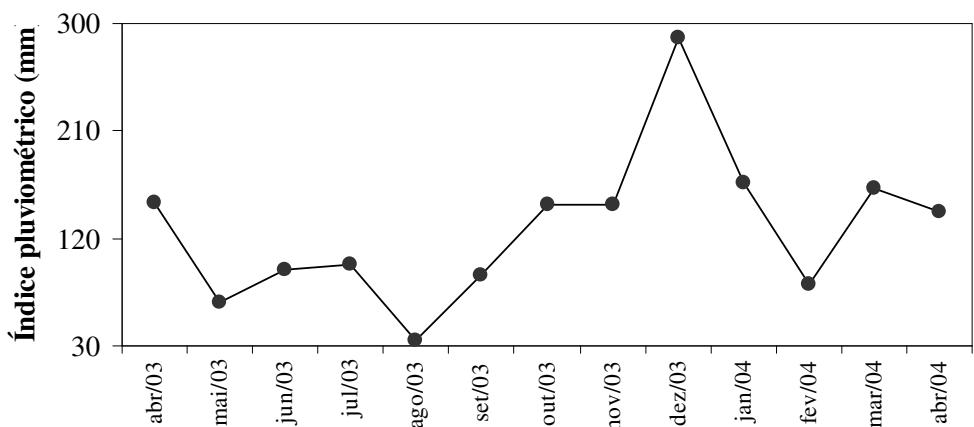


Figura 2. Índices pluviométricos mensais (mm) registrados no município de Urupema – SC, no período de Abril de 2003 a Abril de 2004. Fonte: EPAGRI Urupema.

O solo da região é caracterizado como Cambissolo Húmico alumínico argiloso (média de 530 g kg^{-1}) e com altos teores de matéria orgânica (média de 65 g kg^{-1}). As áreas estudadas foram dois pomares de macieira, um conduzido sob o sistema convencional (PC) e outro convertido para o sistema orgânico de produção (PO), constituídos de linhas alternadas de macieiras das cultivares Royal Gala e Fuji, apresentando arranjo e densidade similares (**Figura 3**). Além dos pomares, foi avaliada também uma área de Campo Nativo (CN) que serviu como testemunha.



Figura 3. Vista do Pomar Convencional (a) e do Pomar Orgânico (b). Urupema-SC.

As áreas dos pomares eram constituídas originalmente de campos nativos do tipo “palha grossa” onde predominam espécies do gênero *Andropogon*, com presença freqüente de *Araucaria angustifolia* (GOMES *et al.*, 1990).

Os dois pomares foram implantados em 1992, utilizando-se 2 e 13 toneladas de calcário dolomítico ha^{-1} e 85 e 300 kg de superfosfato triplo ha^{-1} no pomar convencional e orgânico, respectivamente. Na área que foi convertida para sistema orgânico aplicou-se 40 g de uréia ao redor das mudas na ocasião do plantio e 40 g de uréia quando decorridos 30 dias do plantio. Na mesma área, uma nova calagem foi realizada 5 anos depois da implantação utilizando-se 5 toneladas de calcário

dolomítico ha^{-1} e 1 tonelada de lama de cal ha^{-1} . Sete anos após a implantação (1999) um dos pomares foi convertido de convencional para orgânico.

Em manejos tipicamente convencionais de pomares, há o uso intensivo de químicos sintéticos, fertilizantes minerais solúveis e controle fitossanitário. No pomar convencional em estudo, entretanto, vêm sendo utilizados adubos orgânicos e fontes naturais de fertilizantes como o fosfato de rocha ao longo de alguns anos. Além disso, não são utilizados herbicidas, sendo mantida a cobertura vegetal das entrelinhas. No pomar orgânico, o manejo tem sido realizado com base no controle biológico de pragas e doenças, não sendo utilizados pesticidas e fertilizantes sintéticos. Estas práticas são necessárias para a certificação de produtos orgânicos segundo a Instrução Normativa 007/99 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (www.epagri.rct-sc.br).

A relação de fertilizantes, fungicidas e adubos utilizados nos dois pomares durante a safra 2003/2004 encontram-se relacionadas nos **Quadros 1 e 2** da seção **Anexo I**.

Em cada um dos pomares foi definida uma grade de amostragem com 24 pontos, composta por 4 linhas de plantio e 6 plantas em cada linha, com distância de 18 metros entre linhas e 9 metros entre plantas (45 x 54 m). Neste trabalho, o efeito de cultivar foi desconsiderado, sendo selecionadas apenas as linhas que continham a cultivar Royal Gala. No campo nativo, foram tomados 6 pontos de amostragem, com espaçamento igual ao encontrado na grade de amostragem dos pomares.

Amostras de solo na profundidade de 0 a 10 cm foram coletadas em duas épocas levando em conta os estádios fenológicos da cultura da macieira: a dormência, durante o inverno (julho de 2003) e a frutificação, durante o verão (janeiro de 2004). Em cada ponto amostral foi coletada uma amostra simples de solo deformada e outra não deformada, utilizando-se anéis metálicos com volume de 1500 cm^{-3} . Foram coletadas também amostras de aproximadamente 10 g de raízes de macieira para

determinar-se a colonização micorrízica. As análises microbiológicas e químicas foram realizadas nos Laboratório de Solos e de Biologia do Solo do CAV – UDESC.

A quantificação do Comprimento de Micélio Extra-radicular Total no solo (CMET) foi feita por peneiramento úmido e filtração em membranas de celulose quadriculadas, segundo metodologia proposta por MELLONI (1996). Duas subamostras de solo com aproximadamente 10 g cada foram usadas para a extração do CMET, sendo que uma terceira foi reservada para determinação da umidade, após secagem em estufa durante 24 horas. A extração do micélio foi realizada suspendendo-se as amostras de solo em 0,5 L de água e passando-se o sobrenadante em peneiras sobrepostas, com malhas de 1 e 0,25 mm. Esta operação foi realizada por três vezes e o filtrado foi submetido à agitação em liquidificador durante 30 segundos na menor velocidade. Após um período de repouso de 2 minutos, foram retirados 500 mL de sobrenadante, que foi passado por uma peneira de 0,053 mm. O material retido nesta peneira foi filtrado a vácuo em membrana de triacetato de celulose (diâmetro de 4,7 cm e porosidade de 0,47 μm). Em seguida, a membrana foi colocada sob lâmina de vidro de 5 x 5 cm, lubrificada com uma gota de óleo de amêndoas para facilitar a visualização no microscópio óptico. Foram avaliados 64 campos (8 x 8) em cada membrana, determinando-se o número de interseções de hifas com as linhas horizontais de um gride na ocular do microscópio. O comprimento do micélio extra-radicular total, expresso em centímetros de hifa por grama de solo seco, foi obtido pela seguinte relação:

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

C = comprimento de micélio extra-radicular total, em centímetros de hifa por grama de solo seco;

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

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

Para determinação da colonização micorrízica em raízes de macieira, estas foram clarificadas e coradas de acordo com a técnica proposta por KOSKE & GEMMA (1989). Inicialmente, as raízes foram submersas em KOH 10% e mantidas em banho-maria a 90°C por 1 hora. Em seguida, foram lavadas e imersas em HCl 1% por 5 minutos. Posteriormente, o ácido foi retirado e adicionou-se solução corante (0,5 Glicerina : 0,25 Ácido Láctico : 0,25 Água Destilada; 0,05% Azul de Tripan). As amostras permaneceram em banho-maria por mais 1 hora. Ao final desta etapa, foi necessária uma alteração metodológica para que as raízes apresentassem uma coloração satisfatória. Ao invés de serem lavadas para remoção do corante, as raízes foram conservadas nele por um período de 12 horas a temperatura ambiente. Após este período elas foram então lavadas até a remoção total do corante e conservadas em geladeira até a observação em microscópio.

A avaliação da colonização das raízes por FMAs seguiu a metodologia proposta por McGONIGLE *et al.* (1990). Para este procedimento, tomou-se aproximadamente 120 segmentos em cada fragmento de raiz. Cada um deles foi avaliado quanto à presença de arbúsculos, hifas, vesículas ou esporos de FMAs (McGONIGLE *et al.*, 1990). O percentual de colonização micorrízica (CM) foi expresso considerando-se os valores de fragmentos colonizados em relação aos não colonizados.

Para determinar o potencial de inóculo de FMA no solo (PI), tomou-se amostras indeformadas de solo com anel metálico segundo metodologia proposta por BRUNDRETT (1991). Nos anéis contendo as amostras de solo foi semeado sorgo (*Sorghum bicolor*), mantendo-se apenas duas plântulas após a emergência das sementes. O cultivo foi conduzido por um período de quatro semanas, em casa-de-vegetação. Em seguida, as plantas foram separadas do substrato e as raízes foram submetidas a processos de clarificação e coloração (KOSKE & GEMMA, 1989) que permitissem a

observação de estruturas fúngicas ao microscópio óptico. Para este procedimento, seguiu-se a metodologia proposta por McGONIGLE *et al.* (1990) já descrito para a colonização micorrízica das macieiras, porém sem conduzir-se a adaptação final que foi realizada apenas para as raízes de macieira. O potencial de inóculo foi calculado com base na porcentagem de segmentos de raiz de sorgo colonizados por FMAs em relação aos não colonizados.

A determinação dos valores de glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) foi realizada pela técnica de microtitulação de BRADFORD (1976) modificada por WRIGHT & UPADHYAYA (1998). Para a quantificação de GFE foram utilizadas amostras de um grama de terra fina seca ao ar (TFSA). O solo foi depositado em tubos plásticos próprios para autoclavagem e centrifugação, onde foram adicionados 8ml de solução extratora de citrato de sódio 20mM a pH 7,0. As amostras foram então submetidas à autoclavagem por 30 minutos, e em seguida centrifugadas durante 10 minutos a 3.500 r.p.m. O extrato sobrenadante foi medido com auxílio de pipeta e conservado em geladeira até o procedimento de microtitulação e leitura.

Para a extração de GT, utilizou-se a metodologia descrita acima, com a seguintes modificações: a concentração da solução extratora utilizada foi de 50mM, a pH 8,0; a autoclavagem foi conduzida durante 60 minutos; e foram conduzidos diversos ciclos de autoclavagem e centrifugação até a remoção completa de toda a proteína da amostra – ou seja, quando ao final da centrifugação o extrato não apresentasse mais a coloração marrom-avermelhada típica da proteína.

Para a microtitulação, utilizou-se microplacas de acrílico com microcélulas de 200 μ L. Primeiramente foi estabelecida uma curva padrão entre quantidades de proteína e valores de densidade óptica, tomando-se soro albumina bovina (SAB) como proteína purificada. Em seguida, adicionou-se solução tampão salino-fosfatada (PBS) e Reagente

de Bradford. A leitura dos valores de densidade óptica foi realizada em leitor de placas (Metrolab 980) com filtro de 595nm. A combinação entre SAB e PBS foi ajustada em diferentes proporções (diferenciadas de 20 em 20 μ L) de modo que elas contemplassem todos os valores de densidade óptica que pudessem ser encontrados nas alíquotas provenientes de amostras de solo. De posse dos valores da concentração de SAB e densidade óptica, foi estabelecida uma equação relacionando estas duas variáveis.

Para microtitulação de glomalina no solo foram adicionadas em cada microcélula alíquotas de 20 μ L de extrato, 140 μ L de PBS e 40 μ L de Reagente de Bradford. Para o cálculo da quantidade de proteína em cada alíquota, utilizou-se a equação obtida por meio da microtitulação da curva padrão. Com base na quantidade de proteína encontrada na alíquota de 20 μ L determinou-se a quantidade de glomalina no volume total de extrato. A quantidade de proteína, expressa em μ g por grama de solo seco, foi obtida pela relação: Proteína total no extrato / solo seco. Ao multiplicar-se este resultado por 1000, as frações de glomalina são expressas em mg / g de solo seco, unidades internacionalmente utilizadas.

Para caracterizar as espécies de FMAs presentes nas áreas de cultivo, os esporos foram extraídos de 50 mL de cada amostra de solo, utilizando-se técnica de peneiragem úmida (GERDEMANN & NICHOLSON, 1963) seguida de centrifugação em gradiente de sacarose (20% e 60%). Os esporos foram transferidos para Placas de Petri, coletados sob lupa e conservados em lâminas montadas com solução PVLG + Reagente de Melzer. As lâminas foram encaminhadas ao Laboratório de Botânica da Universidade Regional de Blumenau (FURB) para identificação das espécies por um taxonomista de FMAs.

Buscando-se recuperar espécies que eventualmente não estivessem esporulando a campo no momento da coleta, a diversidade foi também avaliada após

estabelecerem-se culturas armadilhas em casa de vegetação (STUTZ & MORTON, 1996). Esta técnica de multiplicação consiste em misturar o solo coletado com areia estéril na proporção de 1:1 (vol:vol), acondicionando-se o substrato em vasos plásticos de 1,5 kg. Dentre o total de amostras coletadas em cada área, optou-se por cultivar 1/3 delas com festuca (*Festuca arundinaceae*), 1/3 com trevo branco (*Trifolium repens*) e 1/3 com cornichão (*Lotus corniculatus*) ao invés de utilizar-se apenas uma espécie. Assim, espécies de FMA que não esporulassem na presença de um hospedeiro poderiam ser detectadas na presença de outro. Em cada vaso foram semeadas aproximadamente 50 sementes de cada espécie, desinfetadas superficialmente com água sanitária antes da semeadura.

Após 4 meses de cultivo em casa de vegetação, a rega foi suspensa até que as plantas estivessem secas. A parte aérea das plantas e os 2 cm superficiais de substrato de cada vaso foram descartados, sendo que o restante do material (substrato + raízes) foi homogeneizado. Coletou-se uma amostra de 50 mL deste material para avaliação da diversidade de FMA de acordo com a mesma metodologia descrita anteriormente.

A partir das identificações de espécies de FMA determinou-se a riqueza, com base no número total de espécies presentes em cada área. A freqüência relativa das espécies foi determinada como o número de amostras contendo esporos de uma determinada espécie dividido pelo número total de pontos amostrais $\cdot 100$. Além disso, foram calculados três índices ecológicos: Índice de Dominância de Simpson (Is), Índice de Diversidade de Simpson (Ds) e Índice de Diversidade de Shannon (H') de acordo com BROWER & ZAR (1984). Estes índices foram escolhidos por representarem a diversidade levando-se em conta não somente o número de espécies, mas também a uniformidade de ocorrência dos indivíduos.

O Índice de Dominância de Simpson (Is) foi calculado segundo a relação:

$$Is = \Sigma \left(\frac{ni(ni-1)}{N(N-1)} \right); \text{ onde:}$$

ni = número de indivíduos da espécie i ; N = número total de indivíduos.

O Índice de Diversidade de Simpson (Ds), contrário ao Is, é expresso pela diferença:

$$Ds = 1 - Is$$

O terceiro índice utilizado, H' , foi obtido pela relação:

$$H' = -\Sigma pi \log pi, \text{ sendo que } pi = ni/N, \text{ onde:}$$

ni = número de indivíduos da espécie i dentro de uma determinada amostra;

N = número total de indivíduos da área estudada como um todo.

Os atributos químicos do solo determinados foram: pH em H_2O , pH em $CaCl_2$, Al, Ca, Mg, K e Na trocáveis, P disponível e C orgânico total, utilizando-se as técnicas descritas por TEDESCO *et al.* (1995).

Os dados referentes ao potencial de inóculo e colonização micorrízica das macieiras foram transformados pela relação: $(\text{Arcoseno}(\sqrt{x/100})) * 180 / \pi$ a fim de obter-se uma distribuição normal dos dados. O número de esporos foi transformado segundo a relação: $\ln(x+1)$. Todos os dados foram submetidos a testes de normalidade e à análise de variância (ANOVA). Em seguida as médias foram ajustadas pelo Teste LSMeans e comparadas pelo Teste de Duncan a um nível de significância de 5%. Posteriormente, realizou-se a Análise de Correlação de Pearson entre as características avaliadas. Todas as análises foram efetuadas utilizando-se o software SAS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ATIVIDADE DOS FMAs

O comprimento de micélio extra-radicular total (CMET) de FMAs no solo foi maior nos pomares que na área testemunha, alcançando valores máximos no Pomar Convencional durante o verão (**Tabela 1**). A calagem realizada nos pomares em sua implantação provavelmente reduziu os teores de alumínio trocável, diminuindo ou eliminando a ação fungistática deste elemento, que afeta negativamente o crescimento micelial (SIQUEIRA *et al.*, 1984; LAMBAIS & CARDOSO, 1989). De fato, o CMET relacionou-se positivamente com os valores de pH H₂O no Pomar Convencional ($r = 0,475$; $p = 0,019$).

O aumento do CMET no Pomar Convencional do inverno para o verão (**Tabela 1**) pode ser resultado da maior abundância de algumas espécies, mesmo sendo possível detectar apenas uma correlação significativa entre estas variáveis (**Tabelas 2 e 3**).

Diferenças na diversidade das comunidades micorrízicas são de fato determinantes para explicar diferenças de atributos como o CMET. PIOTROWSKI *et al.* (2004) avaliaram a produção de CMET por 5 espécies de FMAs considerando-se diferentes plantas hospedeiras. A inoculação de *Fragaria virginiana* com *Scutellospora calospora* produziu 6 vezes mais CMET que com *Acaulospora denticulada*. Comportamento semelhante foi observando em *Plantago lanceolata*, onde a inoculação com *Gigaspora gigantea* produziu aproximadamente 7,5 m g⁻¹ de hifas, enquanto com *Glomus intraradices* verificou-se valores inferiores a 3,0 m g⁻¹. No Brasil, um estudo coordenado por NOGUEIRA *et al.* (1998) avaliou a produção de CMET por duas espécies de FMA inoculadas em soja e também encontrou diferenças

Tabela 1. Comprimento médio de micélio extra-radicular total de FMAs e colonização micorrízica das macieiras em áreas de pomar convencional, pomar orgânico e campo nativo, em julho de 2003 (Inverno) e janeiro de 2004 (Verão), no município de Urupema – SC. Médias de 24 repetições para cada pomar e 6 para o Campo Nativo.

Área	Inverno	Verão	Média	C.V. (%)
Comprimento de Micélio Extra-radicular Total (cm g⁻¹)				
Pomar Convencional	63,72 ± 6,60 Ab	102,97 ± 6,60 Aa	83,34 ± 4,74 A	47,64
Pomar Orgânico	59,17 ± 6,60 Aa	60,08 ± 6,60 Ba	59,62 ± 4,74 B	45,88
Campo Nativo	43,60 ± 14,60 Ba	51,94 ± 14,60 Ba	47,77 ± 11,11 C	22,99
Médias	55,49 b	71,66 a	67,92 ± 32,82	-
C.V. (%)	39,96	56,62	48,33	-
Colonização Micorrízica das macieiras (%)				
Pomar Convencional	15,55 ± 2,52	0,00	7,77 ± 1,41 A	108,30
Pomar Orgânico	18,52 ± 2,52 a	0,99 ± 0,39 b	9,75 ± 1,41 A	123,61
Campo Nativo	nd	nd	nd	nd
Médias	17,03 a	0,49 b	9,79 ± 8,76	-
C.V. (%)	72,42	389,36	111,75	-

* A = comparações dentro de colunas; a = comparações dentro de linhas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSMeans ($P < 0,05$). nd = não determinado.

significativas entre elas. Na ausência de adubação fosfatada, *Gigaspora margarita* atingiu valores de 15 m g⁻¹ após 90 dias de condução do experimento, enquanto *Glomus intraradices* produziu uma quantidade aproximadamente 50% menor.

A colonização micorrízica das raízes de macieira (CM) apresentou-se muito baixa se comparada ao observado em outros estudos com maçã, onde a colonização média foi sempre superior a 50% (DOUD MILLER *et al.*, 1985; RUNJIN, 1989; WERNER, 1997; FORGE *et al.*, 2001; MATSUBARA *et al.*, 1996; SWEZEY *et al.*, 1998). A ausência de CM no verão pode estar relacionada a erro metodológico ou amostral.

O potencial de inóculo de FMAs (PI) no solo foi menor nos pomares que na área de campo nativo (**Figura 4**). No verão, observou-se decréscimo nos valores de PI da ordem de 60% em relação ao inverno no pomar convencional, 71% no pomar

Tabela 2. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies e as variáveis químicas e biológicas no Pomar Convencional durante o inverno. Médias de 24 repetições.

	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Al	K	Na	Ca	Mg	P	C	PI	CM	GFE	GT	CMET
<i>Acaulospora bireticulata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora morrowiae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora spinosa</i>	ns	ns	0,562* 0,004**	ns	ns	-0,501 0,013	-0,491 0,015	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,457 0,025	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Archaeospora trappei</i>	0,471 0,020	0,466 0,022	ns	ns	ns	0,551 0,005	0,476 0,019	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Entrophospora infrequens</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,420 0,041	ns	ns	ns	ns	0,470 0,021	ns
<i>Glomus etunicatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus fasciculatum</i> c.f.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus geosporum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus invermaium</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus microaggregatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,421 0,041	ns	ns
<i>Glomus mosseae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,585 0,003	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp2	-0,463 0,022	-0,532 0,008	ns	ns	ns	-0,457 0,025	-0,443 0,030	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,467 0,022
<i>Glomus</i> sp5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus spurcum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Paraglomus occultum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,567 0,004	ns	ns	ns	ns

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância. * = valor de r; ** = valor de P.

Tabela 3. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies e as variáveis químicas e biológicas no Pomar Convencional durante o verão. Médias de 24 repetições.

	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Al	K	Na	Ca	Mg	P	C	PI	CM	GFE	GT	CMET
<i>Acaulospora bireticulata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora morrowiae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,423*	ns
<i>Acaulospora spinosa</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora sp1</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora sp4</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,663	ns	ns
<i>Archaeospora trappei</i>	0,473 0,019	0,468 0,021	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Entrophospora infrequens</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,437 0,033	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus etunicatum</i>	ns	ns	ns	0,592 0,002	-0,492 0,015	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus fasciculatum c.f.</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus geosporum</i>	0,522 0,009	0,506 0,012	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus invermaium</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus microaggregatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus mosseae</i>	ns	ns	0,655 0,0005	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus sp1</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus sp2</i>	-0,420 0,041	-0,453 0,026	0,525 0,009	ns	ns	ns	ns	0,619 0,001	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus sp3</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus sp5</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus sp6</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,510 0,011	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus spurcum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Paraglomus occultum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância. * = valor de r; ** = valor de P.

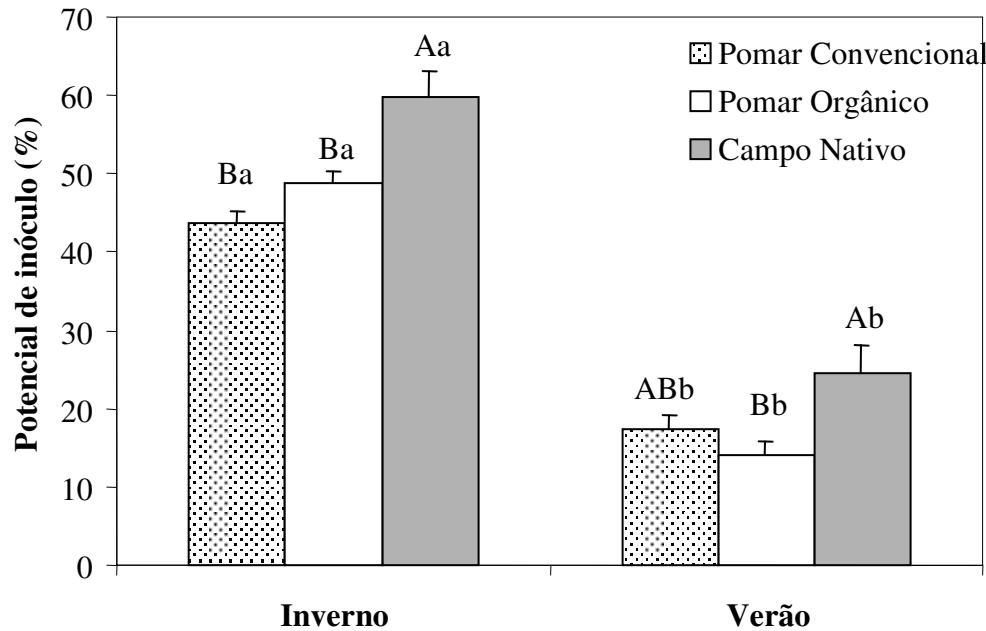


Figura 4. Valores médios de potencial de inóculo em áreas de pomar convencional, pomar orgânico e campo nativo em julho de 2003 (Inverno) e janeiro de 2004 (Verão), no município de Urupema – SC. Médias de 24 repetições para cada pomar e 6 para o Campo Nativo. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre áreas e minúscula entre épocas não diferem entre si pelo Teste LSMeans ($P < 0,05$).

orgânico e 59% na área de campo nativo. Como no Campo Nativo há predomínio de plantas que aparentemente possuem maior área superficial específica de raízes em relação aos pomares, estas raízes colonizadas consistiram em propágulos ativos que conferem um potencial de inóculo superior para o Campo Nativo. Esta hipótese é suportada pela ausência de correlações entre PI e número de esporos ou CMET, fato que já foi descrito para pomares de macieira (MILLER *et al.*, 1985) e também outros sistemas (HAYMAN & STOVOLD, 1979; PORTER, 1979).

Os teores de Glomalina Facilmente Extraível não sofreram interferência de área nem de época estudada, com média de $1,23 \text{ mg g}^{-1}$ de proteína. Os dados confirmam que variações significativas nesta fração de glomalina (e também para GT) normalmente não em solos temperados. A maioria dos trabalhos até então desenvolvidos com esta proteína

mostram que ela parece ser um atributo não sensível a variações sazonais (STEINBERG & RILLIG, 2003), à exceção do registrado por LUTGEN *et al.* (2003).

Os menores teores de Glomalina Total foram observados no Pomar Convencional no inverno (**Tabela 4**), o que indica que o sistema orgânico é mais adequado para este aspecto da funcionalidade dos FMAs, se aproximando do que ocorre nas condições naturais de campo nativo. Outros trabalhos também demonstraram que a GT é sensível às práticas de manejo do solo. WRIGHT *et al.* (1999) estudaram o efeito da conversão de sistemas sob aração em sistemas sem revolvimento do solo e observaram aumentos de $1,45 \text{ mg g}^{-1}$ nos teores de Glomalina Total em relação à área testemunha, não cultivada; e aumentos de $1,83 \text{ mg g}^{-1}$ e proteína em relação à área ainda cultivada sob aração após três anos.

Em outro estudo, WRIGHT & ANDERSON (2000) verificaram que o cultivo de um solo sob semeadura direta com rotação de culturas durante 8 anos promoveu concentrações de Glomalina Total iguais às de uma área natural: $2,9$ e $3,0 \text{ mg g}^{-1}$, respectivamente, ambos superiores ao sistema de preparo convencional, com $2,3 \text{ mg g}^{-1}$. RILLIG *et al.* (2003b) estudaram as frações orgânicas de um solo siltoso nos Estados Unidos, bem como sua distribuição ao longo dos horizontes A, B e C e observaram maior teor de GT na camada superficial em área de floresta nativa ($4,91 \text{ mg cm}^{-3}$) que em áreas sob reflorestamento ($3,41 \text{ mg cm}^{-3}$) e com rotação de milho e soja ($3,06 \text{ mg cm}^{-3}$). Assim como em outros sistemas, a adoção de práticas que minimizem os impactos causados pelo revolvimento do solo, adição de insumos e eliminação da cobertura vegetal favorecem a produção de GT, como observado neste estudo.

Um dos fatores que pode estar determinando as diferenças entre os sistemas na produção de GT é a composição da comunidade vegetal que varia entre o campo nativo e os

Tabela 4. Valores médios de glomalina total em pomar convencional, pomar orgânico e campo nativo em julho de 2003 e janeiro de 2004, no município de Urupema – SC. Médias de 24 repetições para cada pomar e 6 para o Campo Nativo.

Área	Inverno	Verão	Médias	C.V. (%)
	Glomalina Total (mg g ⁻¹)			
Pomar Convencional	4,23 ± 0,11 Cb	4,88 ± 0,11 Ba	4,55 C	13,15
Pomar Orgânico	5,56 ± 0,11 Aa	4,26 ± 0,11 Cb	4,91 B	8,63
Campo Nativo	4,77 ± 0,25 Ba	5,46 ± 0,25 Aa	5,12 A	12,36
Médias	4,86 a	4,87 a	4,79	-
C.V. (%)	11,43	10,69	11,75	-

* A = comparações dentro de colunas; a = comparações dentro de linhas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSMeans ($P < 0,05$).

pomares, efeito porém que ainda necessita de investigações a campo (HARNER *et al.*, 2004). Além da composição vegetal, fatores como a mineralogia do solo, fertilidade e diversidade de espécies de FMAs podem produzir diferenças na concentração de glomalina (WRIGHT *et al.*, 1996; RILLIG *et al.*, 2001; LOVELOCK *et al.*, 2004b) Em nosso estudo, o teor de GT no solo se correlacionou com a abundância de apenas uma espécie de FMA no Pomar Orgânico na amostragem de verão (Tabela 6). No Campo Nativo, o teor de GT foi aumentado em função da maior abundância de quatro espécies (Tabelas 7 e 8), sendo que três delas têm maior freqüência no CN que nos pomares. Desta maneira, podem ser responsáveis pela maior quantidade de GT observada no campo nativo (Tabela 4).

Além de sofrer efeitos de manejo, a GT também foi alterada em função da época nos pomares (Tabela 4). A ausência de variação sazonal na produção de GT e GFE no Campo Nativo pode ser devida ao equilíbrio entre taxas de produção e decomposição, mantendo os níveis de proteína estáveis ao longo do ano.

A ausência de correlações entre as frações de glomalina e as variáveis biológicas pode ser explicada pela diferença entre os tempos de residência destes componentes no solo. Para a glomalina, ele é estimado em anos, enquanto para o CMET e a CM em

Tabela 5. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies de FMAs e as variáveis químicas e biológicas no Pomar Orgânico durante o inverno. Médias de 24 repetições.

	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Al	K	Na	Ca	Mg	P	C	PI	CM	GFE	GT	CMET
<i>Acaulospora bireticulata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora denticulata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora foveata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora koskeii</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora laevis</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora mellea</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora morrowiae</i>	ns	ns	0,458*	0,025**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora rugosa</i>	ns	ns	ns	-0,427 0,037	ns	-0,464 0,022	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	-0,527 0,008	-0,527 0,008	ns	ns	ns	-0,581 0,003	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora spinosa</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora tuberculata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Archaeospora trappei</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Entrophospora infrequens</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,456 0,025	ns	ns
<i>Entrophospora kentinensis</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus claroideum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus etunicatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,555 0,005	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus geosporum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus invermaium</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Continua...

Tabela 5. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies de FMAs e as variáveis químicas e biológicas no Pomar Orgânico durante o inverno. Médias de 24 repetições.

<i>Glomus mosseae</i>	ns	-0,492 0,015	ns	ns	ns	ns	ns	ns						
<i>Glomus</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Glomus</i> sp2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Glomus</i> sp4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Glomus</i> sp5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Glomus spurcum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Gigaspora</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Paraglomus brasiliandum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Paraglomus occultum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							
<i>Scutellospora</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns							

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância. * = valor de r; ** = valor de P.

Tabela 6. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies de FMAs e as variáveis químicas e biológicas no Pomar Orgânico durante o verão. Médias de 24 repetições.

	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Al	K	Na	Ca	Mg	P	C	PI	CM	GFE	GT	CMET
<i>Acaulospora bireticulata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,431*	ns	ns	ns
<i>Acaulospora denticulata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,036**	ns	ns	ns
<i>Acaulospora foveata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora koskeii</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora laevis</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora mellea</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0,461 0,022
<i>Acaulospora morrowiae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora rugosa</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora spinosa</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,456 0,025	ns	ns	ns
<i>Acaulospora tuberculata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,557 0,005	ns	ns	0,673 0,001	ns	ns	ns
<i>Archaeospora trappei</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,601 0,002
<i>Entrophospora infrequens</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Entrophospora kentinensis</i>	ns	ns	0,496 0,014	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus claroideum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus etunicatum</i>	0,427 0,037	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus geosporum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus invermaium</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Continua...

Tabela 6. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies de FMAs e as variáveis químicas e biológicas no Pomar Orgânico durante o verão. Médias de 24 repetições.

<i>Glomus mosseae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,655 0,001	ns	ns
<i>Glomus</i> sp2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp5	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> spurcum	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Gigaspora</i> sp1	ns	ns	0,446 0,029	ns	ns	ns	ns	0,450 0,028	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Paraglomus brasiliense</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Paraglomus occultum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Scutellospora</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,518 0,010	ns	ns

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância. * = valor de r; ** = valor de P.

Tabela 7. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies de FMAs e as variáveis químicas e biológicas no Campo Nativo durante o inverno. Médias de 24 repetições.

	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Al	K	Na	Ca	Mg	P	C	PI	CM	GFE	GT	CMET
<i>Acaulospora foveata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora koskeii</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora laevis</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora mellea</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora morrowiae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora spinosa</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Archaeospora leptoticha</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Archaeospora trappei</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus etunicatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus microaggregatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus mosseae</i>	0,899*	0,936	-0,876					0,887						
	0,015**	0,006	0,022	ns	ns	ns	ns	0,019	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus sinuosum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,847 0,038

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância. * = valor de r; ** = valor de P.

Tabela 8. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre a abundância das espécies de FMAs e as variáveis químicas e biológicas no Campo Nativo durante o verão. Médias de 24 repetições.

	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Al	K	Na	Ca	Mg	P	C	PI	CM	GFE	GT	CMET
<i>Acaulospora foveata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,911*	ns
													0,011**	ns
<i>Acaulospora koskeii</i>	ns	ns	-0,843* 0,035**	ns	ns	0,885 0,019	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora laevis</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora mellea</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora morrowiae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,911 0,011	ns
<i>Acaulospora spinosa</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Acaulospora</i> sp1	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,937 0,006	ns
<i>Archaeospora leptoticha</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Archaeospora trappei</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,911 0,011	ns
<i>Glomus etunicatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus microaggregatum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus mosseae</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus sinuosum</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Glomus</i> sp2	ns	ns	ns	ns	-0,933 0,007	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância. * = valor de r; ** = valor de P.

semanas (FRIESE & ALLEN, 1991; RILLIG *et al.*, 2001). Por outro lado, houve uma correlação altamente significativa entre Glomalina Total e Carbono Orgânico Total no Campo Nativo durante a época de inverno ($r = 0,892$; $p = 0,017$). Esta relação reforça a contribuição desta proteína para a reserva de carbono do solo, conforme já confirmado em outros trabalhos (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996; FRANZLUEBERS *et al.*, 2000; RILLIG *et al.*, 2003a). O Carbono da glomalina pode representar de 3 a 5% do Carbono Orgânico Total do solo, como determinado por LOVELOCK *et al.* (2004a) e RILLIG *et al.* (2001). Este seqüestro de C promovido pela glomalina contribui para que haja imobilização deste nutriente no solo, ocasionando sua lenta disponibilização, já que o tempo médio de residência da glomalina no solo é estimado entre 6 a 42 anos (RILLIG *et al.*, 2001).

3.2. DIVERSIDADE DOS FMAs

Nas três áreas estudadas, foram observadas 38 espécies diferentes de FMAs distribuídas nos seguintes gêneros: *Acaulospora* (15 espécies), *Glomus* (15), *Archaeospora* (2), *Entrophospora* (2), *Paraglomus* (2), *Gigaspora* (1) e *Scutellospora* (1). No Pomar Convencional foi registrado um total de 20 espécies, enquanto no Pomar Orgânico este número foi de 30 e no Campo Nativo de 14. Os valores de riqueza encontrados em nosso estudo são maiores que os encontrados por CAVALLAZZI (2000) em um pomar de macieiras localizado na cidade de Caçador – SC, que foi de apenas 11 espécies. Entretanto, apesar de o autor ter trabalhado com a mesma variedade de maçã e a região também ser caracterizada por clima Cfb, o pomar possuía apenas 3 anos de idade. Números no mínimo 50% inferiores aos do nosso estudo também foram registrados em todos os 18 pomares estudados por MILLER *et al.* (1985) nos Estados Unidos, cujos cultivares eram recém-implantados. Isto pode ser explicado pelo fato de que a riqueza de espécies aumenta à

medida que os pomares avançam em idade, o que já foi observado em pomares de café e citros (CRUZ, 1989; FOCCHI *et al.*, 2004).

Estes números podem ser considerados altos também quando comparados a outros estudos realizados com culturas perenes no Brasil: cafeeiros sob manejo convencional e orgânico no Estado de Minas Gerais apresentaram 8 espécies de FMAs (PEREIRA *et. al.*, 1998) e pomares convencionais e orgânicos de citros com 13 anos de idade apresentaram riqueza de 15 e 16 espécies, respectivamente (FOCCHI *et al.*, 2004). Áreas cultivadas com mamoeiros na região nordeste do Brasil apresentaram 24 diferentes espécies de FMAs, onde os gêneros dominantes são os mesmos que os detectados em nosso estudo, ou seja, *Glomus* e *Acaulospora* (TRINDADE, 1998).

Os dados de riqueza mostram que a implantação dos pomares em área de campo nativo aumentou o número de espécies de FMAs. Este comportamento é observado em outros sistemas de produção e pode estar relacionado à alteração da composição vegetal, com introdução de espécies com alta dependência micorrízica, como é o caso da maçã. Há também alterações sensíveis na fertilidade do solo com a redução da acidez do solo e dos elevados teores de Al, comum em solos ácidos, que por suas propriedades fungistáticas atuam inibindo o desenvolvimento das hifas e a germinação de esporos (SIQUEIRA *et al.*, 1984; LAMBAIS & CARDOSO, 1989).

O Pomar Convencional apresentou menor número de espécies que o Orgânico. Entretanto, não se pode afirmar que esta diferença decorra do manejo orgânico, pois existem ações seletivas que reduzem o número de espécies de FMAs ao longo dos anos em sistemas agrícolas não conservacionistas (OEHL *et al.*, 2003). A conversão de um dos pomares em sistema orgânico pode ter ocasionado este aumento de 10 espécies frente ao sistema que ainda hoje é convencional devido à natureza dos fertilizantes, ao uso de

adubação orgânica e à redução do uso de pesticidas, características próprias de sistemas orgânicos (GOH *et al.*, 2001; WATSON *et al.*, 2002).

A variação da freqüência das espécies de FMAs entre as estações encontra-se expressa nas **Tabelas 9, 10 e 11**. Ela não reflete necessariamente a eliminação das espécies do ambiente, e sim as flutuações de esporulação, que podem estar ligadas a diferentes fatores. Primeiro, os hospedeiros de ciclo anual que estavam presentes no inverno podem não estar mais presentes no verão, dificultando ou até mesmo impedindo a produção de esporos e, consequentemente sua detecção no solo (HETRICK & BLOOM, 1986). Segundo, mesmo havendo presença contínua da planta hospedeira, sabe-se que as espécies de FMAs apresentam diferenças sazonais de esporulação como consequência de padrões fisiológicos e adaptativos. Alguns isolados de *Acaulospora colossica* são conhecidos por apresentarem pico reprodutivo em estações frias, o contrário acontece para *Gigaspora gigantea* (SCHULTZ *et al.*, 1999). Nesta região do estado, algumas espécies parecem responder a um padrão de esporulação, pois as alterações de freqüências encontradas em nosso trabalho coincidem com aquelas registradas por ALBUQUERQUE (2003) em áreas de mata nativa e reflorestamento de *Araucaria angustifolia* e *Pinus* sp. *Acaulospora bireticulata* e *Glomus geosporum* apresentaram aumento de freqüência do inverno para o verão, enquanto para *Acaulospora laevis*, *Glomus etunicatum* e *Paraglomus occultum* ocorreu o inverso.

No Pomar Convencional foram identificadas 17 espécies de FMAs no inverno e 14 no verão (**Tabela 9**). Cinco espécies apresentaram elevada freqüência de ocorrência: *Archaeospora trappei*, *Entrophospora infrequens*, *Glomus geosporum*, *Glomus invermaium*, *Glomus mosseae* e *Glomus* sp.2, com aumentos de freqüência no verão para

Tabela 9. Percentual de freqüência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em função da ocorrência nos pontos de amostragem no Pomar Convencional durante julho/2003 (Inverno) e janeiro/2004 (Verão) na cidade de Urupema – SC.

Espécie	Campo		Cultura armadilha	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
<i>Acaulospora bireticulata</i>	4,17	12,50	0,00	0,00
<i>Acaulospora morrowiae</i>	8,33	25,00	12,50	8,33
<i>Acaulospora spinosa</i>	8,33	16,67	4,17	0,00
<i>Acaulospora</i> sp1	29,17	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora</i> sp4	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Archaeospora trappei</i>	66,67	79,17	0,00	0,00
<i>Entrophospora infrequens</i>	45,83	45,83	0,00	0,00
<i>Glomus etunicatum</i>	4,17	12,50	0,00	0,00
<i>Glomus fasciculatum</i> c.f.	4,17	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus geosporum</i>	0,00	62,50	0,00	0,00
<i>Glomus invermaium</i>	37,50	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus microaggregatum</i>	12,50	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus mosseae</i>	66,67	75,00	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp1	20,83	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp2	87,50	100,00	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp3	12,50	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp5	0,00	20,83	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp6	4,17	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus spurcum</i>	20,83	4,17	0,00	0,00
<i>Paraglomus occultum</i>	12,50	8,33	0,00	0,00
Número de espécies	17	14	2	1

Tabela 10. Percentual de freqüência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em função da ocorrência nos pontos de amostragem no Pomar Orgânico durante julho/2003 (Inverno) e janeiro/2004 (Verão) na cidade de Urupema – SC.

Espécie	Campo		Cultura armadilha	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
<i>Acaulospora bireticulata</i>	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Acaulospora denticulata</i>	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Acaulospora foveata</i>	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Acaulospora koskeii</i>	0,00	0,00	8,33	0,00
<i>Acaulospora laevis</i>	4,17	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora mellea</i>	0,00	8,33	0,00	0,00
<i>Acaulospora morrowiae</i>	12,50	0,00	4,17	0,00
<i>Acaulospora rugosa</i>	4,17	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	8,33	8,33	0,00	0,00
<i>Acaulospora spinosa</i>	12,50	4,17	0,00	0,00
<i>Acaulospora tuberculata</i>	4,17	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora</i> sp2	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Acaulospora</i> sp3	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Archaeospora trappei</i>	4,17	50,00	0,00	0,00
<i>Entrophospora infrequens</i>	54,17	54,17	0,00	0,00
<i>Entrophospora kentinensis</i>	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Glomus claroideum</i>	12,50	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus etunicatum</i>	16,67	12,50	0,00	0,00
<i>Glomus geosporum</i>	0,00	25,00	0,00	0,00
<i>Glomus invermaium</i>	20,83	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus mosseae</i>	29,17	62,50	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp1	12,50	4,17	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp2	91,67	95,83	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp4	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Glomus</i> sp5	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Glomus</i> spurcum	8,33	4,17	0,00	0,00
<i>Gigaspora</i> sp1	0,00	4,17	0,00	0,00
<i>Paraglomus brasiliandum</i>	0,00	12,50	0,00	0,00
<i>Paraglomus occultum</i>	16,67	0,00	0,00	0,00
<i>Scutellospora</i> sp1	0,00	4,17	0,00	0,00
Número de espécies	16	22	2	0

Tabela 11. Percentual de freqüência de espécies de fungos micorrízicos arbusculares em função da ocorrência nos pontos de amostragem no Campo Nativo durante julho/2003 (Inverno) e janeiro/2004 (Verão) na cidade de Urupema – SC.

Espécie	Campo		Cultura armadilha	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
<i>Acaulospora foveata</i>	33,33	16,67	0,00	0,00
<i>Acaulospora koskeii</i>	0,00	50,00	0,00	16,67
<i>Acaulospora laevis</i>	33,33	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora mellea</i>	16,67	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora morrowiae</i>	0,00	0,00	0,00	33,33
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	16,67	16,67	0,00	0,00
<i>Acaulospora spinosa</i>	16,67	16,67	0,00	0,00
<i>Acaulospora sp1</i>	16,67	33,33	0,00	0,00
<i>Archaeospora leptoticha</i>	0,00	16,67	0,00	0,00
<i>Archaeospora trappei</i>	16,67	16,67	0,00	0,00
<i>Glomus etunicatum</i>	16,67	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus microaggregatum</i>	16,67	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus mosseae</i>	33,33	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus sinuosum</i>	16,67	0,00	0,00	0,00
<i>Glomus sp2</i>	100,00	100,00	0,00	0,00
Número de espécies	12	8	0	2

todas elas, à exceção de *E. infrequens* e *G. invermaium*. Na área de Pomar Orgânico observou-se 16 espécies no inverno e 22 no verão (Tabela 10). As espécies que tiveram altos valores de freqüência foram as mesmas do PC. Dentro da área de Campo Nativo foram registradas 12 espécies de FMAs no inverno e 8 no verão. As espécies que tiveram maior freqüência foram *Acaulospora foveata*, *Acaulospora koskeii*, *Acaulospora laevis*, *Acaulospora sp.1*, *Glomus mosseae* e *Glomus sp.2* (Tabela 11).

A espécie *Glomus sp.2* teve freqüência de ocorrência nos pontos amostrais superior a 85%, em todas as áreas e épocas avaliadas (Tabelas 9, 10 e 11), comportando-se como generalista, ou seja, agressiva e pouco suscetível à mudanças ambientais, adaptando-

se facilmente ao efeito do manejo dos pomares. A alta freqüência de esporos deste mesmo gênero também ocorreu em um estudo que avaliou associações micorrízicas com macieiras em clima temperado: cerca de 70% (MILLER *et al.*, 1985).

À exceção de *Glomus* sp2, nenhuma espécie mostrou-se tão freqüente no campo quanto nos pomares (**Tabelas 9, 10 e 11**). *Glomus mosseae* foi outra espécie que se destacou quanto à freqüência, sendo considerada eficiente simbiótica para alguns cultivares de maçã (COVEY *et al.*, 1981; TAUBE-BAAB, 1993; FORTUNA *et al.*, 1996). Desta maneira, outras espécies de FMAs que tiveram alta freqüência devem ser avaliadas quanto à sua eficiência micorrízica e potencial para inoculação de mudas de macieira.

A freqüência das espécies *Glomus geosporum* e *Glomus mosseae* em ambos os pomares vêm de acordo com outros registros literários que consideram comum sua ocorrência em solos intensamente cultivados (KURLE & PFLEGER, 1994; GALVEZ *et al.*, 2001). Estas duas espécies parecem ter tido boa adaptação aos pomares de macieira avaliados em nosso estudo. A ocorrência de simbiose entre estes dois fungos e *Malus domestica* já foi identificada em várias localidades dos Estados Unidos (COVEY *et al.*, 1981; MILLER *et al.*, 1985). Isto reforça a possibilidade de eles estarem exercendo associações com as macieiras, e não com outras espécies vegetais dos pomares. As espécies com baixa freqüência de ocorrência não devem ser desprezadas, já que estudos indicam que elas podem ser eficientes na simbiose mesmo sem terem altos valores de freqüência. É o caso de *Glomus etunicatum*, que apresentou freqüência de ocorrência baixa e é uma espécie que estabelece associação mutualística com a maçã (MATSUBARA *et al.*, 1996). As espécies que têm maior freqüência normalmente são as mais adaptadas às condições do solo e do clima, mas não necessariamente as mais eficientes em termos de simbiose. Elas

podem também estabelecerem relação com outras espécies vegetais que ocorrem em grande número nos pomares, como as gramíneas.

Em nosso estudo, as espécies que tiveram maior freqüência nem sempre tiveram maior abundância. Das 6 espécies que se destacaram quanto à freqüência de ocorrência nos pomares, apenas 3 tiveram os maiores valores de abundância no inverno (**Figuras 5a e 6a**). No verão este padrão é alterado, e 5 das 6 espécies com alta freqüência aparecem também em ordem de maior abundância (**Figuras 5b e 6b**). No Campo Nativo, a influência de espécies com baixa freqüência de ocorrência para o ordenamento em função da abundância é mais forte. Dentre as 6 espécies que tiveram destaque na freqüência, apenas 1 teve maior abundância no inverno (**Figura 7a**) e duas no verão (**Figura 7b**).

O recurso de ordenamento das espécies por abundância não é freqüentemente utilizado em estudos sobre FMAs, porque não permite conclusões adicionais à esporulação de cada espécie (STÜRMER & BELLEI, 1994). Porém, neste estudo o ordenamento é interessante para visualizar quantas e quais espécies de maior freqüência apresentaram maior abundância, aumentando a diversidade dentro de cada sistema. Além disso, estas são espécies que apresentam maior facilidade de isolamento para testes de inoculação pelo maior número de esporos encontrado freqüentemente nas áreas de estudo.

As espécies de FMAs que tiveram alta freqüência e alta abundância nos dois pomares devem ser estudadas quanto à sua eficiência micorrízica e produção de micélio e glomalina em solos ácidos. No pomar convencional, a abundância de *Entrophospora infrequens* mostrou-se favorecida em níveis mais baixos de P ($r = -0,420$; $p = 0,041$) ocasionando maior produção de GT no inverno ($r = 0,470$; $p = 0,021$). No Pomar Orgânico a produção de GT correlacionou-se à abundância de esporos de *Archaeospora trappei*

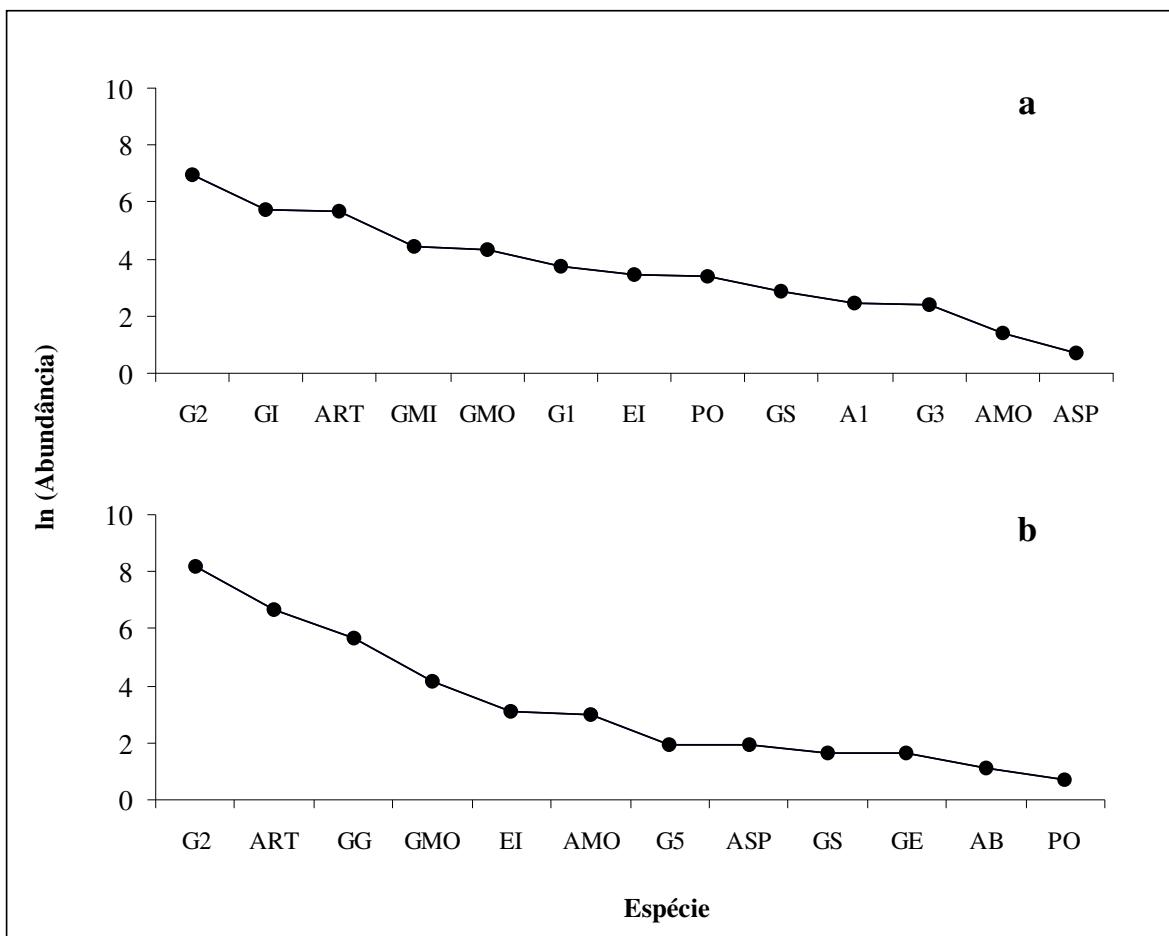


Figura 5. Ordenamento das espécies com base na abundância de FMAs na área de Pomar Convencional durante o inverno (a) e o verão (b). A1, *Acaulospora* sp.1; AB, *Acaulospora bireticulata*; AMO, *Acaulospora morrowiae*; ART, *Archaeospora trappei*; ASP, *Acaulospora spinosa*; EI, *Entrophospora infrequens*; G1, *Glomus* sp.1; G2, *Glomus* sp.2; G3, *Glomus* sp.3; G5, *Glomus* sp.5; GE, *Glomus etunicatum*; GG, *Glomus geosporum*; GI, *Glomus invermaiium*; GMI, *Glomus microaggregatum*; GMO, *Glomus mosseae*; GS, *Glomus spurcum*; PO, *Paraglomus occultum*. Espécies que apresentaram apenas 1 esporo foram excluídas do ordenamento.

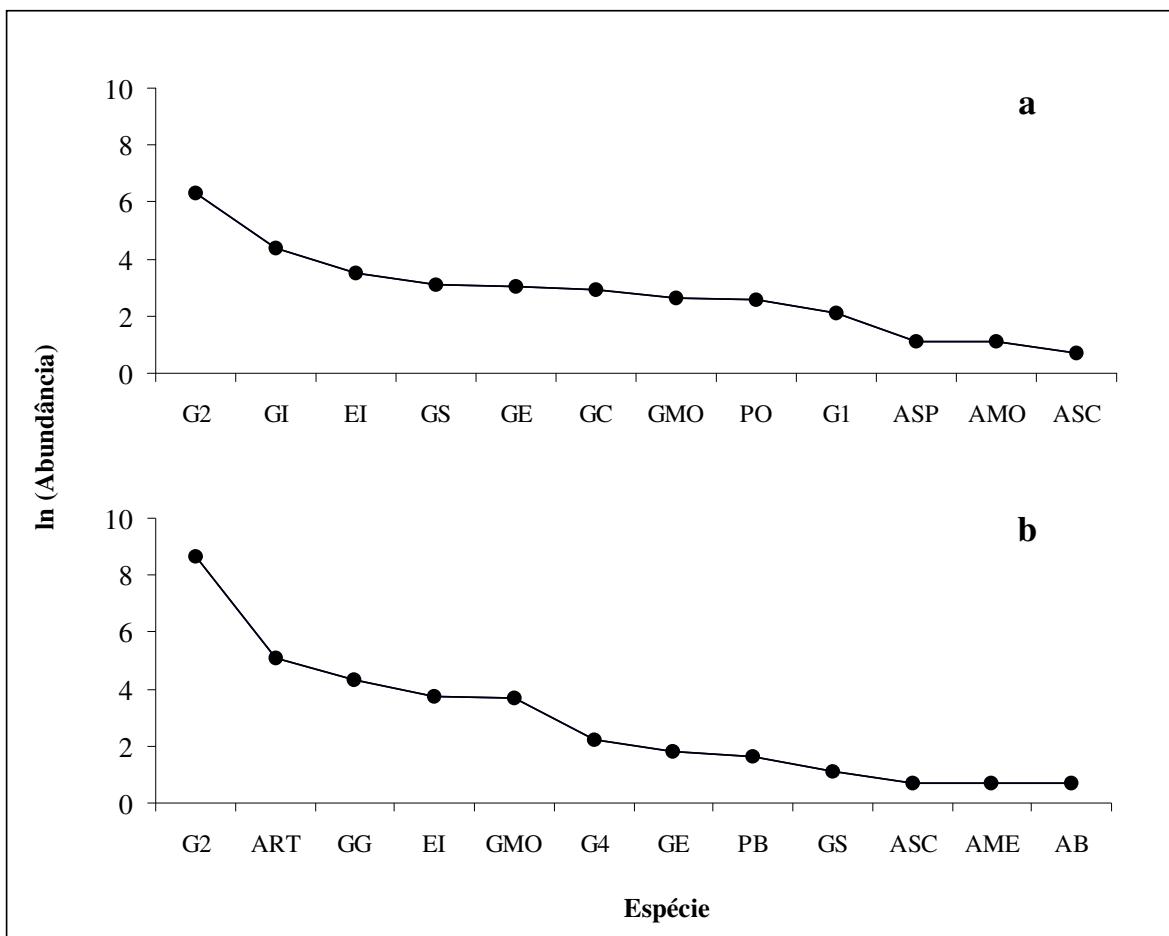


Figura 6. Ordenamento das espécies com base na abundância de FMA na área de Pomar Orgânico durante o inverno (a) e o verão (b). AB, *Acaulospora bireticulata*; AME, *Acaulospora mellea*; AMO, *Acaulospora morrowiae*; ART, *Archaeospora trappei*; ASC, *Acaulospora scrobiculata*; ASP, *Acaulospora spinosa*; EI, *Entrophospora infrequens*; G1, *Glomus* sp.1; G2, *Glomus* sp.2; G4, *Glomus* sp.4; GC, *Glomus claroideum*; GE, *Glomus etunicatum*; GG, *Glomus geosporum*; GI, *Glomus invermaium*; GMO, *Glomus mosseae*; GS, *Glomus sinuosum*; PB, *Paraglomus brasiliense*; PO, *Paraglomus occultum*. Espécies que apresentaram apenas 1 esporo foram excluídas do ordenamento.

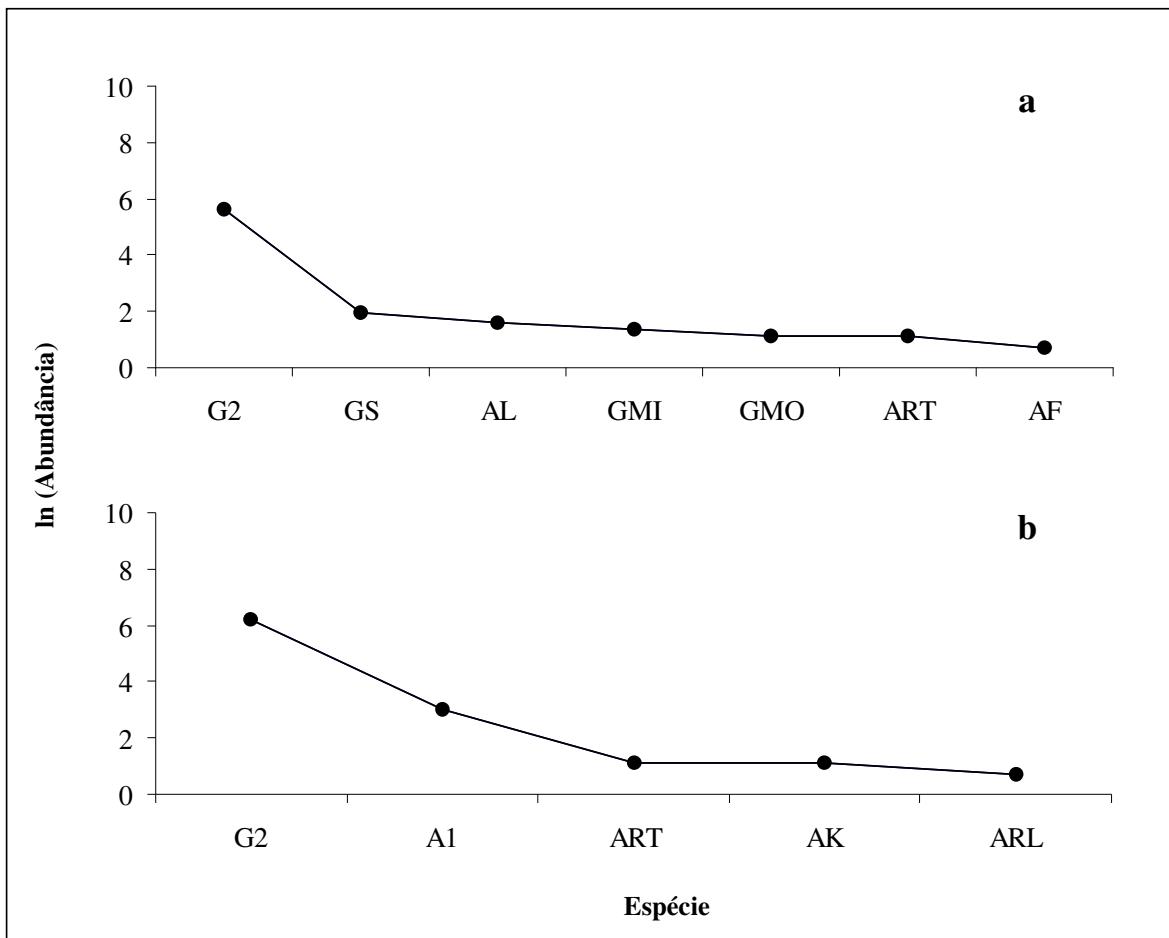


Figura 7. Ordenamento das espécies com base na abundância de FMA's na área de Campo Nativo durante o inverno (a) e o verão (b). G2, *Glomus* sp.2; GS, *Glomus sinuosum*; AL, *Acaulospora laevis*; GMI, *Glomus microaggregatum*; GMO, *Glomus mosseae*; ART, *Archaeospora trappei*; AF, *Acaulospora foveata*; A1, *Acaulospora* sp.1; AK, *Acaulospora koskeii*; ARL, *Archaeospora leptoticha*. Espécies que apresentaram apenas 1 esporo foram excluídas do ordenamento.

durante o verão ($r = 0,601$; $p = 0,002$), indicando possível relação desta espécie com a produção de glomalina. Estas duas espécies parecem exercer um importante papel funcional nos pomares, e representam alternativas interessantes a serem avaliadas quanto à sua eficiência micorrízica nas macieiras e possibilidade de uso em programas de inoculação.

No Campo Nativo, a abundância de esporos *A. foveata*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora* sp.1 e *Archaeospora trappei* exibiu correlações altamente significativas com o teor de GT do solo (Tabelas 8 e 9). A abundância de esporos *Glomus* sp2 teve correlações

com o CMET ($r = 0,847$; $p = 0,038$). Estas espécies possivelmente contribuem para a qualidade do solo em termos de agregação e ciclagem de nutrientes dentro do Campo Nativo.

A análise de correlação entre a abundância das espécies de FMAs e atributos químicos do solo não revelou nenhum fator que pudesse ter influenciado fortemente a esporulação das espécies nas áreas de PC e PO (**Tabelas 2, 3, 5 e 6**). Na área de Campo Nativo, porém, os valores de pH em H_2O , pH em CaCl_2 e Alumínio mostraram-se determinantes para a abundância de algumas espécies (**Tabelas 7 e 8**).

As espécies que são de ocorrência limitada a determinada área (exclusivas) são apresentadas na **Tabela 12**. No Pomar Convencional 3 das 4 espécies pertencem ao gênero *Glomus*, indicando a dominância deste gênero no sistema, enquanto que o Pomar Orgânico apresentou 11 espécies de ocorrência exclusiva, com predominância do gênero *Acaulospora* (**Tabela 12**). Segundo informações levantadas por LAMBAIS & CARDOSO (1988), espécies do gênero *Glomus* são predominantes em solos com menor acidez como é o caso do PC. Em solos mais ácidos, como no caso do PO, espécies do gênero *Acaulospora* são mais adaptadas e têm a germinação dos esporos e o crescimento das hifas favorecidos, por isso predominam nestes solos (**Tabela 12**).

O maior número de espécies exclusivas no PO reflete o favorecimento da esporulação de espécies que antes não esporulavam. A razão para este endemismo ainda não é clara, mas ele pode ser favorecido por fatores como diversidade botânica, fertilidade do solo e faixa de pH (HAMEL *et al.*, 1994; HETRICK & BLOOM, 1986; BEVER *et al.*, 1996), ainda que a abundância das espécies exclusivas não teve relações significativas com estes dois últimos fatores (**Tabelas 7 e 8**). A implantação dos pomares pode ter contribuído

Tabela 12. Número e descrição de espécies de fungos micorrízicos arbusculares exclusivas das áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo. Urupema, SC – 2003/2004.

Área	Número de espécies exclusivas	Espécie
Pomar Convencional	04	<i>Acaulospora</i> sp. 4 <i>Glomus fasciculatum</i> c.f. <i>Glomus</i> sp. 3 <i>Glomus</i> sp. 6
Pomar Orgânico	11	<i>Acaulospora denticulata</i> <i>Acaulospora rugosa</i> <i>Acaulospora tuberculata</i> <i>Acaulospora</i> sp. 2 <i>Acaulospora</i> sp. 3 <i>Entrophospora kentinensis</i> <i>Gigaspora</i> sp. 1 <i>Glomus claroideum</i> <i>Glomus</i> sp. 4 <i>Paraglomus brasiliatum</i> <i>Scutellospora</i> sp. 1
Campo Nativo	03	<i>Acaulospora koskeii</i> <i>Archaeospora leptoticha</i> <i>Glomus sinuosum</i>

para o desaparecimento destas nos sistemas agrícolas. Inúmeros fatores podem ter contribuído para isso, como a calagem, a melhoria da fertilidade a e adição de pesticidas (MUNYANZIZA *et al.*, 1997).

O uso de culturas armadilhas permitiu a captura de apenas duas espécies que não haviam sido registradas em campo na mesma ocasião de amostragem: *Acaulospora koskeii* no Pomar Orgânico durante o inverno (**Tabela 10**) e *Acaulospora morrowiae* no Campo Nativo durante o verão (**Tabela 9**). A recuperação de poucas espécies em cultura-armadilha indica que a composição das espécies em amostras provenientes do campo representou a riqueza de espécies micorrízicas para o período de tempo e condições de amostragem (FRANKE-SNYDER *et al.*, 2001).

O número de esporos de FMAs no solo variou nas áreas de estudo e nas épocas de amostragem (**Tabela 13**) sendo que os maiores valores foram observados nos pomares durante o verão. Em sistemas naturais dominados por vegetação arbustiva perene pode haver um número menor de esporos que em solos adjacentes, pois o uso de fertilizantes ou o revolvimento do solo pode estimular a esporulação (MOSSE & BOWEN, 1968; ABBOTT & ROBSON, 1977). No caso dos pomares, novamente reforça-se o efeito da calagem, que reduziu a ação fungistática do alumínio. A maior esporulação em áreas que possuem maiores teores de fósforo não é comum, porém já foi registrada. Nestes casos, existe a possibilidade de que haja dominância de espécies hábeis em colonizar o hospedeiro em altos níveis de P, pois os FMAs diferem entre si quanto à extensão em que o fósforo diminui a colonização (THOMSON *et al.*, 1996).

Estudos prévios apontam para diferenças na esporulação entre sistemas de cultivo anuais de milho e soja, onde o sistema convencional apresenta menor esporulação que o orgânico (KURLE & PFLEGER, 1994; OEHL *et al.*, 2003). Entretanto, o comportamento pode ser diferente para culturas perenes: pomares convencionais de café no Brasil apresentaram maior esporulação que os orgânicos (PEREIRA *et al.*, 1998), a exemplo do observado em nosso estudo para a maçã. (**Tabela 13**).

Sabe-se que diferenças no número de esporos e sua infectividade podem ocorrer ao longo do ano (KOSKE, 1987). A espécie *Acaulospora scrobiculata* teve esporulação aumentada em 85% de agosto para novembro em um cafeeiro orgânico (PEREIRA *et al.*, 1998). Para *Glomus clarum* este aumento foi de 6.212% no cafeeiro convencional, o que nos revela que outros fatores além da temperatura são responsáveis pela esporulação das espécies. Além disso, deve-se ter em mente o ciclo da cultura em

Tabela 13. Número de esporos nas áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo. Urupema – SC, julho de 2003 (Inverno) e janeiro de 2004 (Verão). Médias de 24 repetições para cada pomar e de 6 para o Campo Nativo.

Área	Inverno	Verão	Média	C.V. (%)
	Nº. de esporos/50 mL solo			
Pomar Convencional	$4,25 \pm 0,14$ Ab*	$5,18 \pm 0,14$ Aa	$4,72 \pm 0,10$ A	10,15
Pomar Orgânico	$3,23 \pm 0,14$ Bb	$5,32 \pm 0,14$ Aa	$4,28 \pm 0,10$ B	16,97
Campo Nativo	$3,89 \pm 0,30$ Aa	$4,25 \pm 0,30$ Ba	$4,07 \pm 0,23$ B	12,85
Média	$3,79 \pm 0,12$ b	$4,92 \pm 0,12$ a	$4,45 \pm 0,67$	-
C.V. (%)	19,28	13,87	15,13	-

* Médias seguidas pelas mesmas letras dentro de colunas não diferem entre si pelo Teste LSMeans ($P = 0,05$). Dados transformados segundo a relação: $\ln(x+1)$.

questão. Como a época de dormência das macieiras consiste em um período de baixo dreno de carbono da planta pelo FMA, é justificável um detimento da expansão de estruturas vegetativas e reprodutivas. Com o período de frutificação, há um pico de atividade fisiológica e a troca de nutrientes entre os simbiontes é maximizada, permitindo maiores taxas de crescimento dos FMAs.

Os índices ecológicos de diversidade variaram entre áreas de estudo, sofrendo também interferência da época do ano (**Tabela 14**). O pomar convencional apresentou o menor Índice de Dominância de Simpson (Is) seguido do pomar orgânico e campo nativo. O contrário foi verificado para os Índices de Diversidade de Simpson e Shannon (**Tabela 14**).

Em prática, isto significa uma distribuição mais uniforme dos indivíduos entre espécies no PC. Assim, um baixo Is nos mostra que se dois indivíduos desta comunidade forem tomados aleatoriamente a probabilidade de que ambos pertençam à mesma espécie é baixa (BROWER & ZAR, 1984). Em contraste, o alto Is do Campo Nativo significa agregação dos indivíduos em poucas espécies.

Tabela 14. Índice de Dominância de Simpson (Is), Índice de Diversidade de Simpson (Ds) e Índice de Diversidade de Shannon (H'). Caracterizações realizadas em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo no município de Urupema – SC. Médias de 24 repetições para cada pomar e 6 para o Campo Nativo.

Área	Inverno	Verão	Médias	C.V. (%)
Índice de Dominância de Simpson				
Pomar Convencional	0,62 ± 0,04 Ba	0,67 ± 0,04 Ba	0,65 ± 0,03 B	28,75
Pomar Orgânico	0,06 ± 0,04 Bb	0,86 ± 0,04 Aa	0,76 ± 0,03 AB	25,24
Campo Nativo	0,83 ± 0,09 Aa	0,87 ± 0,09 Aa	0,85 ± 0,07 A	14,87
Médias	0,71 ± 0,04 b	0,80 ± 0,04 a	0,72 ± 0,21	-
C.V. (%)	33,33	29,11	29,74	-
Índice de Diversidade de Simpson				
Pomar Convencional	0,37 ± 0,04 Aa	0,33 ± 0,04 Aa	0,35 ± 0,03 A	52,91
Pomar Orgânico	0,34 ± 0,04 Aa	0,14 ± 0,04 Bb	0,24 ± 0,03 AB	80,19
Campo Nativo	0,17 ± 0,09 Ba	0,13 ± 0,09 Ba	0,15 ± 0,07 B	92,29
Médias	0,29 ± 0,04 a	0,20 ± 0,04 b	0,28 ± 0,21	-
C.V. (%)	65,89	103,00	77,17	-
Índice de Diversidade de Shannon				
Pomar Convencional	0,32 ± 0,03 Aa	0,27 ± 0,03 Aa	0,29 ± 0,02 A	48,32
Pomar Orgânico	0,26 ± 0,03 ABa	0,12 ± 0,03 Bb	0,19 ± 0,02 B	72,34
Campo Nativo	0,14 ± 0,07 Ba	0,10 ± 0,07 Ba	0,12 ± 0,06 B	96,04
Médias	0,24 ± 0,03 a	0,17 ± 0,03 b	0,23 ± 0,17	-
C.V. (%)	67,27	93,25	73,16	-

* Médias seguidas pela mesma letra dentro da coluna não diferem entre si pelo Teste LSMeans ($P < 0,05$).

A tendência destes índices pode ser melhor visualizada ao contemplar-se os dados de abundância ilustrados nas **Tabelas 4, 5 e 6 e Figuras 5, 6 e 7**. Visualmente percebe-se que no CN há maior freqüência e abundância de *Glomus* sp2. Já nos pomares os maiores valores de freqüência e abundância são distribuídos em 3 espécies no inverno e 5 no verão, contribuindo para uma distribuição mais uniforme dos FMAs.

Esta alteração da diversidade é comum em alguns sistemas agrícolas, e normalmente eles contêm populações de FMAs mais numerosas e diversas que solos sob vegetação nativa devido a alterações de ordem botânica e nutricional do solo (MOSSE & BOWEN, 1968). Entretanto, percebe-se que o Pomar Orgânico preservou valores de

diversidade mais próximos à área testemunha, preservando melhor as características naturais do solo da região, com baixa diversidade e alta dominância de FMAs. De acordo com outros registros, o comum é que sistemas orgânicos promovam maior diversidade micorrízica e por consequência exibam maiores índices ecológicos que sistemas convencionais (FRASER *et al.*, 1988; OEHL *et al.*, 2003). Entretanto, sabe-se que no caso de algumas culturas este resultado não é observado em períodos relativamente curtos. Um exemplo é o estudo desenvolvido por FRANKE-SNYDER *et al.* (2001), onde os autores não encontraram diferenças nestes e outros índices ecológicos mesmo após 15 anos consecutivos de manejo convencional e orgânico de culturas de milho e soja. Uma hipótese sugerida pelos autores é que a alta disponibilidade de fósforo (média 160 a 185 mg kg⁻¹) possa ter mascarado possíveis diferenças em função do manejo, uma vez que este nutriente na maioria das vezes é determinante para a ocorrência de algumas espécies de FMAs. Em outro estudo realizado com pomares de citros convencionais e orgânicos no Brasil também não houveram diferenças na riqueza de espécies de FMAs mesmo com um cultivo de 13 anos (FOCCHI *et al.*, 2004).

O pomar orgânico contemplado no presente estudo foi convertido há apenas 7 anos, de modo que apresenta apenas o número de espécies superior ao das outras áreas. Existe a possibilidade de que este intervalo de tempo ainda não foi suficiente para estabelecer-se um equilíbrio competitivo entre as espécies. Assim, surgiriam alterações no número de esporos e índices de diversidade ao longo de futuros períodos. Desta maneira, são necessárias novas avaliações ao decorrer dos anos para confirmar esta hipótese.

É interessante destacar ainda que a diversidade taxonômica dos FMAs não está necessariamente ligada ao papel funcional destes fungos, que geralmente é atribuído ao micélio e à glomalina. Como estas duas unidades comportam-se praticamente como duas

unidades independentes, torna-se difícil relacionar dados de diversidade à funcionalidade em estudos a campo (MORTON, 1993). Desta maneira, sistemas que exibem maiores índices de diversidade não necessariamente são mais efetivos sob ponto de vista ecológico. Comunidades de FMAs com menor diversidade podem ser mais efetivas que aquelas com alta diversidade desde que as espécies presentes consistam em boas mutualistas (SIEVERDING, 1991).

Os maiores valores de pH e menores concentrações de Alumínio que ocorrem nos pomares são devido à prática da calagem (**Tabela 15**). O uso de calcário dolomítico aumentou os teores de Ca e Mg. As diferenças nas concentrações de P e K entre os pomares podem ser um resultado das práticas de manejo, uma vez que no Pomar Convencional utiliza-se fertilizantes minerais, que possuem maior solubilidade que os fertilizantes naturais utilizados no Pomar Orgânico.

Houve redução das concentrações de cálcio e potássio no solo do inverno para o verão (**Tabela 16**), o que é comum porque este nutriente é envolvido no processo de formação dos frutos. Os menores teores de K no PC favoreceram o crescimento de *Glomus etunicatum* (**Tabela 3**) o que pode ter ocasionado maior CMET no verão (**Tabela 1**). Outras correlações positivas entre a fertilidade do solo e CMET, CM e GT foram observadas, porém a quase totalidade delas no pomar convencional (**Tabelas 17, 18 e 19**).

Mesmo havendo variações significativas no conteúdo de P entre as áreas, observou-se poucas relações significativas deste nutriente com a abundância de espécies. Duas delas mostraram-se afetadas negativamente pelo aumento do fósforo (**Tabelas 2 e 5**) enquanto outras três foram positivamente influenciadas (**Tabelas 2, 3 e 6**). Isto não é surpreendente visto que a resposta das espécies ao P é muito variável, e pode de fato ser positiva em condições de pequeno aumento deste nutriente (HEPPER, 1983; NOBREGA *et*

Tabela 15. Valores médios de pH em água (pH H₂O), pH em cloreto de cálcio (pH CaCl₂), alumínio (Al), magnésio (Mg) e sódio (Na) trocáveis e fósforo disponível (P) na camada de 0 a 10cm de profundidade. Caracterizações realizadas em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo em Urupema – SC. Médias de 48 repetições para cada pomar e 12 para o Campo Nativo.

	Pomar Convencional	Pomar Orgânico	Campo Nativo	Média	C.V. (%)
pH H₂O	6,31 ± 0,07 A*	5,94 ± 0,07 B	4,73 ± 0,16 C	5,97	7,86
pH CaCl₂	5,62 ± 0,07 A	5,26 ± 0,07 B	4,07 ± 0,17 C	5,28	9,23
Al (cmol_c dm⁻³)	0,03 ± 0,04 B	0,11 ± 0,04 B	2,26 ± 0,08 A	0,31	81,28
Mg (cmol_c dm⁻³)	5,58 ± 0,17 A	4,61 ± 0,17 B	1,51 ± 0,40 C	4,66	25,50
Na (cmol_c dm⁻³)	0,11 ± 0,01 B	0,11 ± 0,01 B	0,14 ± 0,01 A	0,11	22,15
P (mg dm⁻³)	12,60 ± 0,69 A	8,11 ± 0,69 B	3,38 ± 1,62 C	9,66	49,60

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSMeans ($P < 0,05$).

Tabela 16. Valores médios de cálcio (Ca) e potássio (K) trocáveis e carbono orgânico total (COT) na camada de 0 a 10cm de profundidade. Caracterizações realizadas em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo. Urupema – SC, julho de 2003 (Inverno) e janeiro de 2004 (Verão). Médias de 24 repetições para cada pomar e 6 para o Campo Nativo.

Área	Inverno		Médias	C.V. (%)
	Ca (cmol _c dm ⁻³)	Verão		
Pomar Convencional	9,91 ± 0,38 Aa	8,46 ± 0,38 Ab	9,18 A	15,89
Pomar Orgânico	8,37 ± 0,38 Aa	6,42 ± 0,38 Bb	7,39 B	23,61
Campo Nativo	1,97 ± 0,84 Ba*	1,56 ± 0,84 Ca	1,76 C	38,00
Médias	6,75 a	5,48 b	7,53	-
C.V. (%)	28,60	22,29	25,02	-
K (cmol _c dm ⁻³)				
Pomar Convencional	0,73 ± 0,04 Aa	0,54 ± 0,04 Ab	0,64 A	32,72
Pomar Orgânico	0,49 ± 0,04 Ba	0,32 ± 0,04 Bb	0,41 B	22,76
Campo Nativo	0,58 ± 0,09 Ba	0,58 ± 0,09 Aa	0,58 A	20,72
Médias	0,60 a	0,48 b	0,52	-
C.V. (%)	36,57	47,18	38,05	-
COT (g kg ⁻¹)				
Pomar Convencional	38,38 ± 0,99 Ba	33,86 ± 0,99 Bb	36,12 B	11,79
Pomar Orgânico	42,03 ± 0,99 Aa	38,22 ± 0,99 ABb	40,12 A	12,69
Campo Nativo	42,98 ± 2,16 Aa	42,98 ± 2,16 Aa	42,98 A	11,96
Médias	41,13 a	38,36 b	38,62	-
C.V. (%)	9,59	15,20	12,56	-

* A = comparações dentro de colunas; a = comparações dentro de linhas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste LSMeans ($P < 0,05$).

Tabela 17. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre as variáveis biológicas e químicas no Pomar Convencional durante o inverno e o verão. Médias de 24 repetições em cada época.

	Inverno					Verão				
	PI	CM	GFE	GT	CMET	PI	CM	GFE	GT	CMET
pH H ₂ O	ns	ns	ns	ns	0,475* 0,019**	ns	ns	ns	ns	ns
pH CaCl ₂	ns	ns	ns	ns	0,501 0,013	ns	ns	ns	ns	ns
Al	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K	ns	ns	ns	0,499 0,013	ns	ns	ns	ns	ns	-0,469 0,021
Na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca	ns	0,416 0,043	ns	ns	0,522 0,009	ns	ns	ns	ns	ns
Mg	ns	ns	ns	ns	0,505 0,012	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância.

* = valor de r; ** = valor de P.

al., 2001). A ausência de demais correlações entre atributos químicos e biológicos é comum. A conversão de uma área nativa em um pomar implica em ciclos alternados de adubação que podem prejudicar o estabelecimento do equilíbrio das populações micorrízicas. Estes fatores que controlam a atividade micorrízica atuam de modo muito complexo, sendo difícil relacioná-los a características químicas do solo (FERNANDES & SIQUEIRA, 1989).

As maiores quantidades de COT foram preservadas no Pomar Orgânico e no Campo Nativo, sendo o CN a única área que não sofreu perdas no verão (Tabela 16). Os menores valores de COT dentro do Pomar Convencional podem estar relacionadas a um

Tabela 18. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre as variáveis biológicas e químicas no Pomar Orgânico durante o inverno e o verão. Médias de 24 repetições em cada época.

	Inverno					Verão				
	PI	CM	GFE	GT	CMET	PI	CM	GFE	GT	CMET
pH H ₂ O	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
pH CaCl ₂	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Al	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Na	ns	-0,438* 0,032**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância.

* = valor de r; ** = valor de P.

possível aumento da atividade biológica no período com mais altas temperaturas (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 1999). A decomposição da matéria orgânica pode ter sido favorecida pelo pH mais elevado que é observado nesta área, em torno de 6,3. Diferenças no manejo do Pomar Orgânico frente ao Pomar Convencional, principalmente no que se refere à adição dos resíduos, ocasionaram a manutenção de níveis de COT semelhantes aos verificados em áreas nativas, a exemplo do observado por RIBEIRO (2003). Além disso, manejos destinados a Pomares Orgânicos geralmente conferem menores oscilações de temperatura e umidade ao solo, diminuindo condições de estresse ambiental e equilibrando taxas de produção e decomposição de matéria orgânica frente a Pomares Convencionais (KIMPE & WARKENTIN, 1998).

Tabela 19. Resultado da Análise de Correlação de Pearson entre as variáveis biológicas e químicas no Campo Nativo durante o inverno e o verão. Médias de 6 repetições em cada época.

	Inverno					Verão				
	PI	CM	GFE	GT	CMET	PI	CM	GFE	GT	CMET
pH H ₂ O	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
pH CaCl ₂	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Al	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
K	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Na	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ca	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mg	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COT	ns	ns	ns	0,892* 0,017*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
				*						

ns = coeficiente não significativo ao nível de 5% de significância.

* = valor de r; ** = valor de P.

4. CONCLUSÕES

A implantação dos pomares altera a comunidade micorrízica em aspectos de produção de micélio, potencial de inóculo e freqüência de espécies em relação ao campo nativo, independente do manejo da produção.

As quantidades de glomalina total, carbono orgânico total, número de esporos e índices de diversidade e dominância foram mais alteradas pelo sistema convencional que pelo sistema orgânico, que preservou estas características muito semelhantes às encontradas no campo nativo. Assim, o manejo convencional da cultura da macieira é o mais desaconselhável sob o ponto de vista da conservação da atividade e diversidade das comunidades micorrízicas na região estudada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. The distribution and abundance of vesicular-arbuscular endophytes in some Western Australian soils. **Australian Journal of Botany**, 25: 515-522, 1977.
- ALBUQUERQUE, P.P. **Aspectos ecológicos de populações de fungos micorrízicos arbusculares em reflorestamentos e em mata nativa de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze.** Lages, SC, UDESC, 2003. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).
- ALLEN, M.F.; SEXTON, J.C.; MOORE, T.S.J.; CHRISTENSEN, M. Influence of phosphate source on vesicular-arbuscular mycorrhizae of *Bouteloua gracilis*. **New Phytologist**, 87: 687-694, 1981.
- AZCON-AGUILAR, C.; BAREA, J.M. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens: an overview of the mechanisms involved. **Mycorrhiza**, 6 : 457-464, 1996.
- BEVER, J.D.; MORTON, J.B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P.A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. **Journal of Ecology**, 84: 71-82, 1996.
- BEVER, J.D.; SCHULTZ, P.A.; PRINGLE, A.; MORTON, J.B. Arbuscular mycorrhizal fungi: more diverse than meets the eye, and the ecological tale of why. **BioScience**, 51: 923-931, 2001.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 72: 248-254, 1976.
- BROWER, J.E.; ZAR, J.H. Species Diversity. In **Field & Laboratory Methods for General Ecology**, pp. 152-160. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, USA.
- BRUNDRETT, M.C. 1991. Mycorrhizas in natural ecosystems. In: MACFAYDEN, A.; BAGON, M.; FITTER, A.H.(Eds.). **Advances in Ecological Research**. London, Academic Press, 1984. p.171-313.
- CAVALLAZZI, J.R.P. **Seleção de Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) para mudas de macieiras micropagadas adaptadas a solos ácidos.** Florianópolis, SC, UFSC, 2000. 127p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)
- COVEY, R.P.; KOCH, B.L.; LARSEN, H.J. Influence of vesicular arbuscular mycorrhizae on the growth of apple and corn in low-phosphorus soil. **Ecology and Epidemiology**, 71 (7): 712-715, 1981.
- CRUZ, S.J.C. Estudio de la simbiosis micorrízica vesicular arbuscular en el cultivo de *Coffea arabica* var. Caturra. **Fitopatol. Colomb.**, 13(2): 56-64, 1989.

DOUD MILLER, D.; DOMOTO, P.A.; WALKER, C. Mycorrhizal fungi at eighteen apple rootstock plantings in the United States. **New Phytologist**, 100: 379-391, 1985.

DOUDS JR., 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 and Environment**, 43: 325-335, 1993.

DOUDS, D. D.; GALVEZ, L.; JANK, R. R.; WAGONER, P. Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 52: 111-118, 1995.

DOUDS, D.D.; SCHENCK, N.C. Increased sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by manipulation of nutrient regimes. **Applied Environment and Microbiology**, 56: 413-418, 1990.

FERNANDES, A.B.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas vesicular-arbusculares em cafeeiros da região sul do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 24(12): 1489-1498, 1989.

FOCCHI, S.S.; DAL SOGLIO, F.K.; CARRENHO, R.; SOUZA, P.V.D.; LOVATO, P.E. Fungos micorrízicos arbusculares em cultivos de citros sob manejo convencional e orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39 (5): 469-476, 2004.

FORGE, T.; MUEHLCHEN, A.; HACKENBERG, C.; NEILSEN, G.; VRAIN, T. Effects of preplant inoculation of apple (*Malus domestica* Borkh.) with arbuscular mycorrhizal fungi on population growth of the root-lesion nematode, *Pratylenchus penetrans*. **Plant and Soil**, 236: 185-196, 2001.

FORTUNA, P.; CITERNESI, A.S.; MORINI, S.; VITAGLIANO, C.; GIOVANNETTI, M. Influence of arbuscular mycorrhizae and phosphate fertilization on shoot apical growth of micropropagated apple and plum rootstocks. **Tree Physiology**, 16: 757-763. 1996

FRANKE-SNYDER, M.; DOUDS JR., D.D.; GALVEZ, L.; PHILIPS, J.G.; WAGONER, P.; DRINKWATER, L.; MORTON, J. Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. **Applied Soil Ecology**, 16: 35-48, 2001.

FRANZLUEBBERS, A.J.; WRIGHT, S.F.; STUDEMAN, J.A. Soil Aggregation and Glomalin under Pastures in the Southern Piedmont USA. **Soil Science Society of America Journal**, 64 : 1018-1026, 2000.

FRASER, D.G.; DORAN, J.W.; SAHS, W.W.; LESOING, G.W. Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. **Journal of Environmental Quality**, 17: 585-590, 1988.

FRIESE, C.F.; ALLEN, M.F. The spread of VA mycorrhizal fungal hyphae in the soil: Inoculum types and external hyphal architecture. **Mycologia**, 83: 409-418, 1991.

GALVEZ, L.; DOUDS, D.D.; DRINKWATER, L.E.; WAGONER, P. Effect of tillage and farming system upon VAM fungus populations and mycorrhizas and nutrient uptake of maize. **Plant and Soil**, 228: 299-308, 2001.

GERDEMANN, J.W.; NICHOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, 46: 235-244, 1963.

GIANINAZZI, S.; SCHÜEPP, H. **Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems**. Switzerland: ALS, Birkhäuser, Basel, 1994.

GOH, K.M.; PEARSON, D.R.; DALY, M.J. Effects of apple orchard production systems on some important soil physical, chemical and biological quality parameters. **Biological Agriculture and Horticulture**, 18: 269-292, 2001.

GOMES, K.E. *et al.* Zoneamento das pastagens naturais do planalto catarinense. In: REUNIÃO DO GRUPO TÉCNICO REGIONAL DO CONESUL EM MELHORAMENTO E UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS FORRAGEIROS DAS ÁREAS TROPICAL E SUBTROPICAL, 11., Lages, 1990, Relatório... Lages, SC, 1990, p.304-314.

GUILLEMIN, J.P.; ABDEL-FATTAH, G.M.; TROUVELOT, A.; GIANINAZZI, S.; GIANINAZZI-PEARSON, V. Interactions between soil-applied fungicides, endomycorrhiza fungal activity and plant growth. **Trends Agric. Sci.**, 1: 161-172, 1993.

HAMEL, C.; DALPÉ, Y.; LAPIERRE, C.; SIMARD, R.R.; SMITH, D.L. Composition of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi population in an old meadow as affected by pH, phosphorus and soil disturbance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 49: 223-231, 1994.

HARNER, M.J.; RAMSEY, P.W.; RILLIG, M.C. Protein accumulation and distribution in floodplain and river foam. **Ecology Letters**, 7: 829-836, 2004.

HAYMAN, D.S.; STOVOLD, G.E. Spore populations and infectivity of vesicular mycorrhizal fungi in New South Wales. **Australian Journal of Botany**, 27: 227-233, 1979.

HEPPER, C.M. Effect of phosphate on germination and growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Trans. Br. Mycol. Soc.**, 80(33): 487-490, 1983.

HETRICK, B.A.D.; BLOOM, J. The influence of host plant on production and colonization ability of vesicular-arbuscular mycorrhizal spores. **Mycologia**, 78 (1): 32-36, 1986.

KIMPE, C.R.; WARKENTIN, B.P. Soil functions and the future of natural resources. In: BLUME, H.P.; EGER, H.; FLEISHHAUER, E.; HEBEL, A.; REIJ, C.; STEINER, K.G. (Eds.) Towards sustainable land use – Furthering cooperation between people and institutions. **Advances Geocol.**, 31: 3-10, 1998.

KOSKE, R.E. Distribution of VA mycorrhizal fungi along a latitudinal temperature gradient. **Mycologia**, 79: 55-68, 1987.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, 92 (4): 486-488, 1989.

KURLE, J.E.; PFLEGER, F.L. Arbuscular mycorrhizal fungus spore populations respond to conversions between low-input and conventional management practices in a corn-soybean rotation. **Agronomy Journal**, 86 (3): 467-475, 1994.

LAMBAIS, M.R.; CARDOSO, E.J.B.N. Avaliação da germinação de esporos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e da colonização micorrízica de *Stylosanthes guianensis* em solo ácido e distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12: 249-255, 1988.

LAMBAIS, M.R.; CARDOSO, E.J.B.N. Germinação de esporos e crescimento do tubo germinativo de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em diferentes concentrações de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13: 151-154, 1989.

LIMONARD, T.; RUISEN, M.A. The significance of VA-mycorrhiza to future arable farming in the Netherlands. **Neth. J. Pl. Path.**, 95: 129-135, 1989.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; CLARK, D.A.; RUESS, R.W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, 92: 278-287, 2004a.

LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 36(6): 1009-1012, 2004b.

LUTGEN, E.R.; MUIR-CLAIMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M.C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**, 257: 71-83, 2003.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23: 257-263, 1999.

MATSUBARA, Y.; KARIKOMI, T.; IKUTA, M.; Hori, H.; ISHIKAWA, S.; HARADA, T. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation on growth of apple (*Malus* ssp.) seedlings. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, 65(2): 297-303, 1996.

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. **The New Phytologist**, 115 (3) : 495-501, 1990.

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

MILLER, D.D.; DOMOTO, P.A.; WALKER, C. Mycorrhizal fungi at eighteen apple rootstock plantings in the United States. **New Phytologist**, 100 (3): 379-391, 1985.

MILLER, R.M.; JASTROW, J.D. Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: KAPULNIK, Y.; DOUDS, D.D. (Eds.) **Arbuscular mycorrhizas: physiology and function**. The Netherlands: Kluwer Academic, 2000. pp. 3-18.

MORTON, J.B. Problems and solutions for the integration of glomalean taxonomy, systematic biology, and the study of endomycorrhizal phenomena. **Mycorrhiza**, 2: 97-109, 1993.

MORTON, J.B.; BENTIVENGA, S.P.; BEVER, J.C. Discovery, measurement, and interpretation of diversity in arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales, Zygomycetes). **Canadian Journal of Botany**, 73: 25-32, 1995.

MOSSE, B.; BOWEN, G.D. The distribution of *Endogone* spores in some Australian and New Zealand soils, and in an experimental field soil at Rothamsted. **Transactions of the British Mycological Society**, 51: 485-492, 1968.

MUNYANZIZA, E.; KEHRI, H.K.; BAGYARAJ, D.J. Agricultural intensification, soil biodiversity and agro-ecosystem function in the tropics: the role of mycorrhiza in crops and trees. **Applied Soil Ecology**, 6: 77-85, 1997.

NOBREGA, J.C.A.; LIMA, J.M.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MOTTA, P.E.F. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36 (11): 1425-1435, 2001.

NOGUEIRA, M.A.; PACOVSKY, R.S.; CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e sua relação com a eficiência simbiótica. In : FERTBIO (1998 : Caxambu). Anais... Caxambu : MG, 1998. p. 300.

OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A. Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. **Applied and Environmental Microbiology**, 69 (5): 2816-2824, 2003.

PEREIRA, J.C.; SILVA, E.M.R.; REIS, V.M.; RICCI, M.S. Populações microbianas do solo em cafeeiro sob manejo convencional e orgânico. In : FERTBIO (1998 : Caxambu). Anais... Caxambu : MG, 1998. p. 300.

PIOTROWSKI, J.S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J.N.; GRAHAM, J.M.; RILLIG, M.C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. **New Phytologist**, 164(2): 365-373, 2004.

PORTER, W.M. The 'Most Probable Number' method for enumerating infective propagules in vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil. **Australian Journal of Soil Research**, 17: 515-519, 1979.

REGANOLD , J.P.; ELLIOTT, L.F.; UNGER, Y.L. Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. **Nature**, 330: 370-372, 1987.

RIBEIRO, G.M. **Características químicas, físicas e biológicas do solo em pomares de macieiras conduzidos nos sistemas orgânico e convencional de produção**. Lages, SC, UDESC, 2003. 56p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

RILLIG, M.C.; MAESTRE, F.T.; LAMIT, L.J. Microsite differences in fungal hyphal lenght, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology and Biochemistry**, 35: 1257-1260, 2003a.

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.W.; MORRIS, S.; PAUL, E.A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, 253: 293-299, 2003b.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; TORN, M.S. Unusually large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil organic matter pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, 233: 167-177, 2001.

RUNJIN, L. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas and phosphorus on water status and growth of apple. **Journal of Plant Nutrition**, 12(8): 997-1017, 1989.

SCHULTZ, P.A.; BEVER, J.D.; MORTON, J. *Acaulospora colossica* sp. nov. from an old field in North Carolina and morphological comparisons with similar species, *A. laevis* and *A. koskei*. **Mycologia**, 91: 676-683, 1999.

SIEVERDING, E. Plant protection practices with pesticides. In: SIEVERDING, E. (Ed.) **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn, Technical Cooperation, Federal Republic of Germany, 1991. p. 165-182.

SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, D.H.; MAHMUD, A.W. Effect of liming on spore germination, germ tube growth and root colonization by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, 76: 115-124, 1984.

SMITH, S. E.; READ, D. J. 1997. **Mycorrhizal symbiosis**. Academic Press, London.

STEINBERG, P.D.; RILLIG, M.C. 2003. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology and Biochemistry**, 35: 191-194.

STÜRMER, S.L.; BELLEI, M.M. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. **Canadian Journal of Botany**, 72(3): 359-363, 1994.

STUTZ, J.C., MORTON, J.B. Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular endomycorrhizal fungi in arid ecosystems. **Canadian Journal of Botany**, 74 : 1883-1889, 1996.

SWEZEY, S.L.; WERNER, M.R.; BUCHANAN, M.; ALLISON, J. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. **American Journal of Alternative Agriculture**, 13(4): 162-180, 1998.

TAUBE-BAAB, H.; BALTRUSCHAT, H. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of young apple trees in apple replant disease soil. **Journal of Plant Diseases and Protection**, 100(5): 474-481, 1993.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

THOMSON, B.D.; ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K. Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizas by *Gigaspora calospora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. **New Phytologist**, 103: 751-765, 1986.

TRINDADE, A.V. **Fungos micorrízicos arbusculares em mamoeiro**. Lavras, MG, UFLA, 1998. 177p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; KLIRONOMOS, J.N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and plant productivity. **Nature** 396: 69-72, 1998.

WATSON, C.A.; ATKINSON, D.; GOSLING, P.; JACKSON, L.R.; RAYNS, F.W. Managing soil fertility in organic farming systems. **Soil Use and Management**, 18: 239-247, 2002.

WERNER, M.R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. **Applied Soil Ecology**, 5: 151-167, 1997.

WRIGHT, S.F.; ANDERSON, R.I. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology and Fertility of Soils**, 31: 249-253, 2000.

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

WRIGHT, S.F.; STARR, J.L.; PALTINEANU, I.C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, 63: 1825-1829, 1999.

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

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, 161 (9): 575-586, 1996.

CAPÍTULO 2

**USO DA ANÁLISE MULTIVARIADA PARA IDENTIFICAR INDICADORES
BIOLÓGICOS E QUÍMICOS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MAÇÃS.**

RESUMO

Estudos recentes a respeito da qualidade do solo vêm revelando indicadores químicos e físicos para avaliação do impacto de sistemas de manejo. Porém, os indicadores de ordem biológica ainda são os menos explorados mesmo sabendo-se de sua importância na dinâmica de nutrientes e estruturação dos ecossistemas. Em pomares de maçã, por exemplo, existem poucos trabalhos a respeito destes bioindicadores, que são importantes principalmente no caso da conversão de pomares convencionais em orgânicos. Este trabalho objetivou distinguir indicadores biológicos e químicos em um pomar convencional, pomar orgânico e campo nativo na região de Urupema, SC. Os dados foram analisados com auxílio da Análise Canônica Discriminante (ACD), identificando funções canônicas capazes de diferenciar as três áreas estudadas. Todas elas foram distintas entre si segundo o Teste LSD aplicado à média dos coeficientes canônicos homogeneizados (CCHs). Dentre os atributos biológicos, a Glomalina Total e o Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total foram os que mais se destacaram ao apresentarem altos valores de CCH e taxa de discriminação paralela (TDP). O Alumínio foi o atributo químico que teve maior poder de discriminação entre as três áreas com base no CCH e TDP. Estas três variáveis podem ser indicadas para o estudo de alterações provocadas pelo sistema de produção de maçãs a curto prazo.

ABSTRACT

Recent studies about soil quality have revealed interesting chemical and biological indicators to evaluate the impact of some management systems. However, the biological indicators are still the least explored even knowing their importance in the nutrient dynamic and ecosystem structure. There are few studies about this bioindicators, which are important specially in case of conversion of conventional in organic orchards. The aim of this study was to distinguish biological and chemical indicators in a conventional, an organic orchard and a native grassland from the region of Urupema, SC. Data were analyzed using the Canonical Discriminant Analysis (CDA), discriminating canonical functions which can separate the studied areas. All of them were distinct among them according to the LSD Test, applied to the medium value of the Standardized Canonical Coefficients (SCC). Among the biological attributes, Total Glomalin and Hyphal Length were the more important ones, which presented the highest values of SCC and parallel rate of discrimination (PRD). Aluminium was the chemical attribute which had the highest discrimination power among the areas based on SCC and PRD. These three variables can be indicated to studies about alterations promoted by the system of apple production in a short period of time.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preocupação com a saúde humana e qualidade ambiental na agricultura vem motivando produtores a adotarem práticas de produção orgânica. A conversão de sistemas convencionais para orgânicos promove alterações na dinâmica de nutrientes e agregação, promovidas principalmente pela contínua adição de resíduos vegetais e animais ao solo. Estas mudanças refletem-se na produtividade das culturas, na qualidade do solo e finalmente no equilíbrio do sistema (GLOVER *et al.*, 2000; REGANOLD *et al.*, 2000).

Recentemente, alguns indicadores foram estudados quanto à sua potencialidade de refletir estas alterações na qualidade do solo. Os indicadores físicos mais utilizados com este objetivo são a densidade do solo, a porosidade total e a taxa de infiltração de água (REICHERT *et al.*, 2003). Os indicadores de natureza química mais utilizados são o Carbono Orgânico e o Nitrogênio, pH e quantidade de bases extraíveis (LEWANDOWSKI & ZUMWINKLE, 1999). Os indicadores de ordem biológica ainda são os menos explorados devido à grande variabilidade que apresentam ao longo do ano, porém refletem sensivelmente as variações de ordem ambiental (LEWANDOWSKI & ZUMWINKLE, 1999; SCHLOTER *et al.*, 2003).

Alguns estudos em sistemas convencionais e orgânicos de maçã têm apontado o Carbono da biomassa microbiana, a respiração microbiana, o número de minhocas e a colonização micorrízica como propriedades sensíveis às alterações oriundas do tipo de manejo adotado (REGANOLD *et al.*, 1993; WERNER, 1997; SWEZEY *et al.*, 1998; GOH *et al.*, 2001). Entretanto, a efetividade destes indicadores pode ser variável devido à diferenças do cultivar estabelecido, tipo de solo, condições geográficas e climáticas. Como componentes importantes dos sistemas agrícolas e de ocorrência generalizada,

aspectos funcionais dos FMAs e sua simbiose podem constituir indicadores biológicos consistentes e por isso merecem estudo.

A identificação de indicadores requer a utilização de recursos que permitam uma análise simultânea das múltiplas quantificações de atributos que estão sendo avaliados, o que é possibilitado por técnicas de estatística multivariada (HAIR *et al.*, 1987). Através da Análise Canônica Discriminante (ACD), as funções canônicas discriminantes (FCDs) permitem uma combinação linear de variáveis que contribuem para a separação dos tratamentos, mantendo a menor variação possível dentro de cada um deles (CRUZ-CASTILHO *et al.*, 1994). Dentre outros aspectos, a ACD já foi explorada em estudos sobre fauna do solo (SANTOS *et al.*, 2004), variabilidade genética (CARDIM *et al.*, 2001), estágios sucessionais florestais (LU *et al.*, 2003) e produtividade vegetal (ARMITAGE, 1986), revelando-se como recurso de grande confiabilidade para identificar atributos que contribuem para discriminar áreas, grupos ou populações animais e vegetais.

No presente estudo, nosso objetivo foi identificar atributos biológicos relacionados à atividade dos FMAs e atributos químicos que sirvam como indicadores de mudanças na qualidade do solo ocasionadas pela conversão de pomares convencionais em orgânicos utilizando a ACD como ferramenta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em áreas de pomar convencional, pomar orgânico e campo nativo do município de Urupema – SC, cuja caracterização encontra-se abrangida no Capítulo 1. No presente estudo, foram selecionados dois grupos de variáveis apresentadas no Capítulo 1, ou seja: variáveis biológicas (Potencial de Inóculo, Glomalina Facilmente Extraível, Glomalina Total, Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total, Índice de Dominância de Simpson, Índice de Diversidade de Simpson, Índice de Diversidade de Shannon, Riqueza de Espécies, Número de esporos) e variáveis químicas (pH em H₂O, pH em CaCl₂, Alumínio, Potássio, Sódio, Cálcio, Magnésio, Fósforo e Carbono Orgânico Total).

A colonização micorrízica das macieiras foi o único atributo descartado. Como a colonização não foi avaliada no Campo Nativo, a ausência de dados impediria que esta área apresentasse coeficientes canônicos homogeneizados, que são necessários para a separação das três áreas estudadas. A análise canônica discriminante (ACD) foi aplicada a cada um dos grupos (variáveis biológicas e variáveis químicas) para comparar os atributos mais relevantes para a separação das áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo. A análise foi realizada utilizando-se o programa SAS versão 6.12 (SAS Institute Inc., 1990).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de estatístico multivariado de Wilks' Lambda demonstrou que as funções canônicas contribuem significativamente para a separação entre as áreas estudadas ($p = 0,0001$). A lógica da ACD consiste em obter uma combinação linear (Z) das variáveis independentes (Y), de forma que a correlação entre Z e Y seja maximizada. A ACD transforma as variáveis originais em um número pequeno de variáveis compostas, denominadas funções canônicas discriminantes (FCDs). Elas consistem nos pesos canônicos das variáveis originais, que fornecem informações sobre o poder de discriminação de cada uma delas. Como nosso estudo compreendeu três tratamentos (PC, PO e CN), foram estabelecidas duas funções canônicas discriminantes (FCDs), uma vez que o número máximo de FCDs é calculado em função do número de tratamentos estudados menos 1 (CRUZ-CASTILHO *et al.*, 1994).

A primeira FCD estabelecida reflete a máxima variação possível entre os tratamentos, refletindo as diferenças ao melhor grau possível. A segunda FCD reflete as diferenças entre os grupos que não foram exibidas pela primeira FCD sob a condição de não haverem correlações entre FCD1 e FCD2 (PIRES DA SILVA *et al.*, 2001).

O teste de “Likelihood ratio” indicou que apenas uma FCD deve ser considerada do ponto de vista estatístico ($P = 0,0001$). Ela apresentou um coeficiente de correlação canônica ajustado de 0,59, indicando que está altamente correlacionada com os atributos biológicos estudados. Em nosso estudo, a FCD1 respondeu por 91% das diferenças biológicas entre as 3 áreas, enquanto a FCD2 por apenas 9%. Estes resultados coincidem com a premissa básica da ACD, onde a primeira função canônica deve expressar a máxima variação entre os tratamentos. A FCD discrimina as áreas através dos coeficientes canônicos homogeneizados (CCHs) de cada ponto amostral em

cada área, considerando a contribuição de todas as variáveis biológicas ilustrada na

Figura 1.

Os valores médios de CCHs encontram-se expressos na **Tabela 1**, de modo a facilitar a visualização e compreensão dos dados. Ao aplicar-se o teste de médias sobre os coeficientes canônicos homogeneizados, percebe-se que todas as áreas são diferentes entre si. A menor média de CCH foi a do Pomar Convencional quando comparada ao Pomar Orgânico e ao Campo Nativo (**Tabela 1**), indicando que o PC foi o sistema menos eficiente em conservar as propriedades biológicas do solo nativo da região.

Estes valores de CCH médios em cada área refletem a contribuição de todos os nove atributos biológicos. Para avaliar a contribuição de cada variável biológica na separação das áreas são tomados três valores: o coeficiente canônico homogeneizado (CCH), o coeficiente de correlação entre as funções canônicas discriminantes (r) e a taxa de discriminação paralela (TDP), que é o produto de r e CCH.

Os valores de CCH são utilizados para avaliar a contribuição de cada variável para o estabelecimento de cada FCD, indicando o poder de separação dos tratamentos de cada variável que está sendo considerada. A Glomalina Total (GT) foi o parâmetro que exibiu maior valor positivo de CCH, e o Comprimento de Micélio Extra-radicular Total (CMET) teve o maior valor negativo (**Tabela 2**). Em outras palavras, estas são as duas variáveis biológicas que mais contribuíram para caracterizar a primeira função canônica e, consequentemente, separar as áreas de estudo (**Figura 2**).

A Glomalina Total e o Índice de Dominância de Simpson exibiram altos coeficientes de correlação positivos com a FCD1 (valores de r expressos na **Tabela 2**), demonstrando que estes dois atributos contribuíram com aproximadamente 45 e 46% da somatória total dos pesos individuais dos outros atributos.

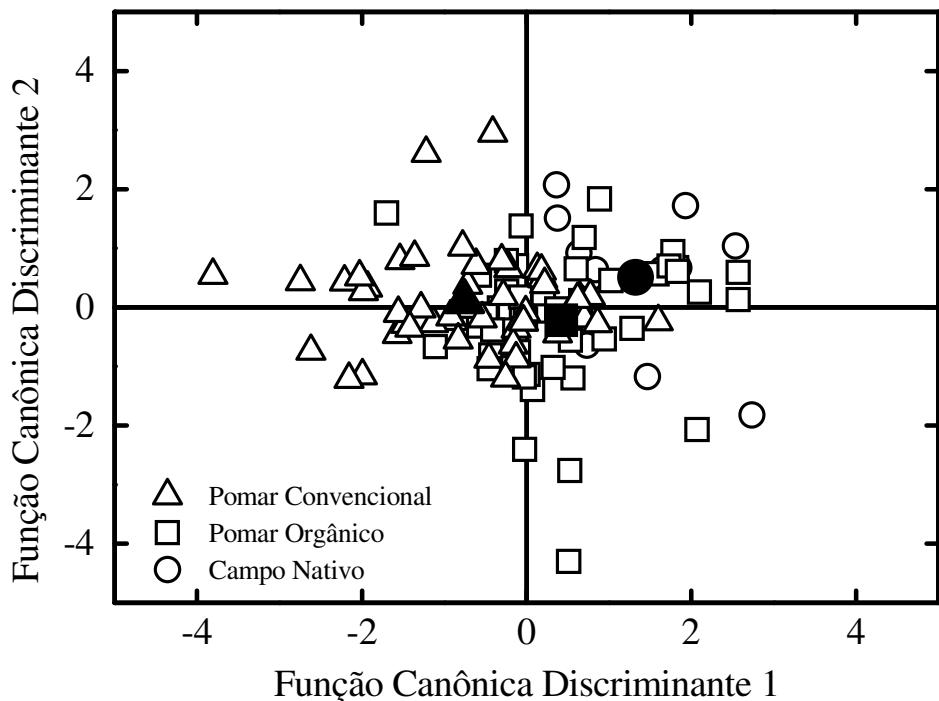


Figura 1. Coeficientes canônicos homogeneizados (CCH) das funções canônicas discriminantes 1 e 2, em áreas de Campo Nativo, Pomar Orgânico e Pomar Convencional, considerando-se Potencial de Inóculo, Glomalina Facilmente Extraível, Glomalina Total, Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total, Índice de Dominância de Simpson, Índice de Diversidade de Simpson, Índice de Diversidade de Shannon, Riqueza de Espécies e Número de esporos. Símbolos cheios representam os valores médios para cada área. Urupema-SC.

Tabela 1. Média dos coeficientes canônicos homogeneizados (CCH) da função canônica discriminante 1 das variáveis biológicas analisadas.

Área	CCH
Pomar Convencional	-0,754 c*
Pomar Orgânico	0,423 b
Campo Nativo	1,324 a

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

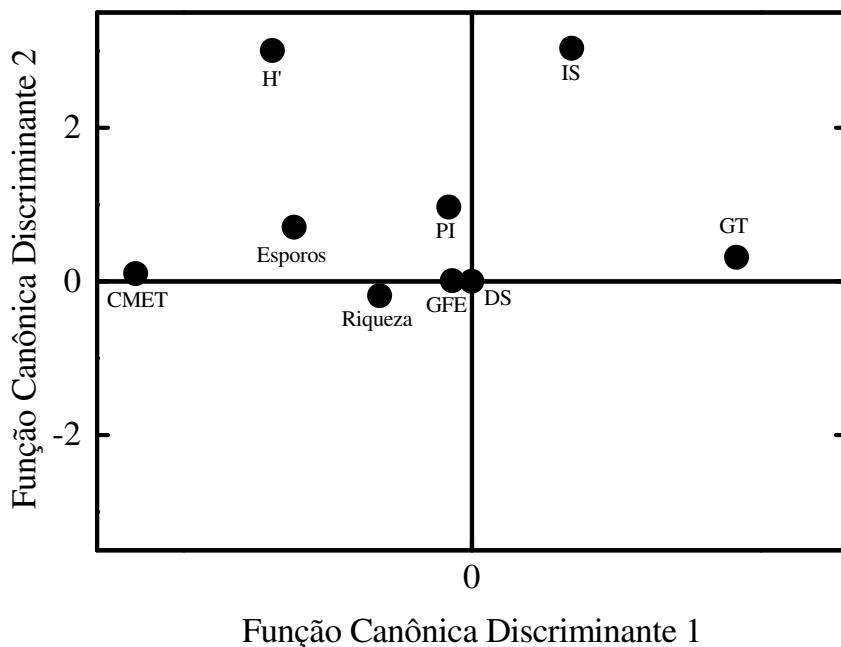


Figura 2. Contribuição relativa das variáveis estudadas para o estabelecimento das funções canônicas discriminantes. H' = índice de diversidade de Shannon; IS = índice de dominância de Simpson; Esporos = número de esporos; PI = potencial de inoculo; GT = glomalina total; CMET = comprimento de micélio extra-radicular total; Riqueza = riqueza de espécies; GFE = glomalina facilmente extraível; DS = índice de diversidade de Simpson.

Tabela 2. Valores de coeficiente canônico homogeneizado (CCH), coeficiente de correlação (r) e coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP) para a função canônica discriminante 1. Atributos biológicos avaliados em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo. Urupema-SC, 2003. Média de 48 repetições para cada pomar e de 12 para o Campo Nativo.

Atributo	CCH	r	TDP
Potencial de Inoculo	-0,040	0,175	-0,007
Glomalina Facilmente Extraível	-0,034	0,165	-0,006
Glomalina Total	0,459	0,447	0,205
Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total	-0,583	-0,620	0,361
Índice de Dominância de Simpson	0,173	0,458	0,079
Índice de Diversidade de Simpson	0,000	-0,458	0,000
Índice de Diversidade de Shannon	-0,346	-0,501	0,173
Riqueza de espécies	-0,160	-0,558	0,089
Número de esporos	-0,308	-0,339	0,104

As duas variáveis que mais se destacaram ao apresentarem os maiores valores de TDP foram a Glomalina Total e o Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total (**Tabela 2**), indicando que influenciaram fortemente a separação das três áreas. Sob o ponto de vista da análise multivariada, futuras análises nestas áreas podem seguramente serem realizadas com base apenas em CMET e GT. O CMET também apresentou-se como bom indicador em um trabalho desenvolvido por ALBUQUERQUE (2003), ao estudar a ecologia de FMAs em sistemas naturais e florestados com *Araucaria angustifolia*. Ele foi o atributo que melhor respondeu pela separação entre as áreas estudadas, enquanto nem o índice ecológico tomado pela autora nem o número de esporos tiveram participação significativa do ponto de vista multivariado. Em nosso caso, os atributos que se destacaram como bioindicadores (CMET e GT) também foram os ligados ao caráter funcional dos FMAs em detrimento de outros atributos ligados à diversidade. Através destes dados, pode-se perceber que ao avaliarmos o impacto de sistemas de manejo ou de uso do solo sobre a comunidade micorrízica, há necessidade de tomarmos atributos relacionados à atividade destes fungos. Apesar de saber-se que as práticas de cultivo refletem-se na diversidade das espécies de FMAs, este atributo nem sempre pode refletir sensivelmente as alterações da qualidade do solo por dois motivos: 1) no caso dos FMAs, os esporos geralmente são tomados como base para identificação, e podem permanecer no solo por longos períodos do ano; 2) esporos e micélio + glomalina comportam-se como duas unidades independentes, tornando-se difícil relacionar dados de diversidade à funcionalidade (MORTON, 1993).

O potencial de inóculo não mostrou-se bom indicador, talvez porque esta é uma medida indireta da atividade dos FMAs. Além disso, o ensaio foi conduzido em condições controladas selecionando-se apenas um hospedeiro, e fatores desta natureza podem alterar o verdadeiro potencial de inóculo do solo. A Glomalina Facilmente

Extraível é considerada a fração de glomalina localizada em sítios do solo que são mais susceptíveis à produção e decomposição recentes (LUTGEN *et al.*, 2003) e, portanto, que exibe maiores flutuações de natureza microambiental. Assim, a GFE perderia seu poder de discriminação das alterações do sistema como um todo, ao contrário da Glomalina Total.

Apesar de apresentar altos valores de TDP no presente trabalho, o CMET pode apresentar restrições como a grande variabilidade espacial, a dificuldade em extrair-se hifas dos agregados e subjetividade de observação durante a quantificação (LOVELOCK *et al.*, 2004). O uso da glomalina como bioindicador da atividade dos FMAs é vantajoso porque ela é produzida especificamente por fungos *Glomaleanos* (WRIGHT *et al.*, 1996) e é de fácil quantificação (WRIGHT & UPADHYAYA, 1999; WRIGHT *et al.*, 1999).

A exemplo do ocorrido para os atributos biológicos, a análise canônica discriminante também permitiu definir funções canônicas que possibilitaram a separação das três áreas. Através do teste de Wilks' Lambda pode-se afirmar que as funções canônicas contribuem para a separação entre as áreas estudadas de maneira significativa ($p = 0,0001$). O teste de “Likelihood ratio” indicou que ambas as FCDs devem ser consideradas ($P = 0,0001$). A FCD1 apresentou um coeficiente de correlação canônica ajustado de 0,94 e a FCD2 de 0,78, indicando que elas encontram-se altamente correlacionadas com os atributos químicos estudados. A FCD1 respondeu por 84% das diferenças entre as diferenças químicas das 3 áreas, enquanto a FCD2 por 16%. A discriminação das 3 áreas é ilustrada na **Figura 3** e na **Tabela 3**. Ao contrário do observado para os atributos biológicos, a maior média de CCH foi a do Pomar Convencional quando comparada ao Pomar Orgânico e ao Campo Nativo (**Tabela 3**),

indicando que o PC foi o sistema que mais alterou as propriedades químicas do solo nativo da região, aumentando sua fertilidade.

O Alumínio e o pH H₂O exibiram os mais altos valores negativos de CCH (**Tabela 4**), sendo as duas variáveis químicas que mais contribuíram para caracterizar a primeira função canônica e, consequentemente, diferenciar as 3 áreas (**Figura 4**). Os valores de r demonstraram que Cálcio e Magnésio contribuíram com aproximadamente 36 e 34% da somatória total dos pesos individuais dos outros atributos (**Tabela 4**).

O maior valor de TDP foi encontrado para o Alumínio (0,783), indicando que quase a totalidade das separações entre as áreas estudadas dentro da FCD1 é explicada pela diferença de Alumínio encontrada entre elas. Todas as outras variáveis apresentaram valores muito baixos de TDP, o que significa que possuem menor eficiência em separar as áreas estudadas sob o ponto de vista multivariado, apesar de haverem diferenças significativas através da análise estatística univariada.

Na FCD2, o Magnésio foi o atributo com maior CCH (**Figura 4**), enquanto Potássio e Fósforo apresentaram os maiores valores de r (**Tabela 4**). Porém, as maiores TDPs foram atribuídas ao Potássio (0,316) e ao Carbono Orgânico Total (0,228), indicando que estes dois atributos químicos respondem pela maior parte da separação entre as áreas estudadas ao longo da FCD2.

A análise canônica já foi utilizada por PIRES DA SILVA *et al.* (2001) para identificar atributos químicos discriminantes em dois tipos diferentes de solo, facilitando a escolha de indicadores de sua qualidade. Em um estudo realizado nos mesmos pomares, AMARANTE *et al.* (2004) também utilizaram a ACD com o objetivo de designar atributos químicos responsáveis pela separação entre os pomares. Neste caso, o Cálcio apresentou maiores valores de TDP, ao contrário do verificado em nosso

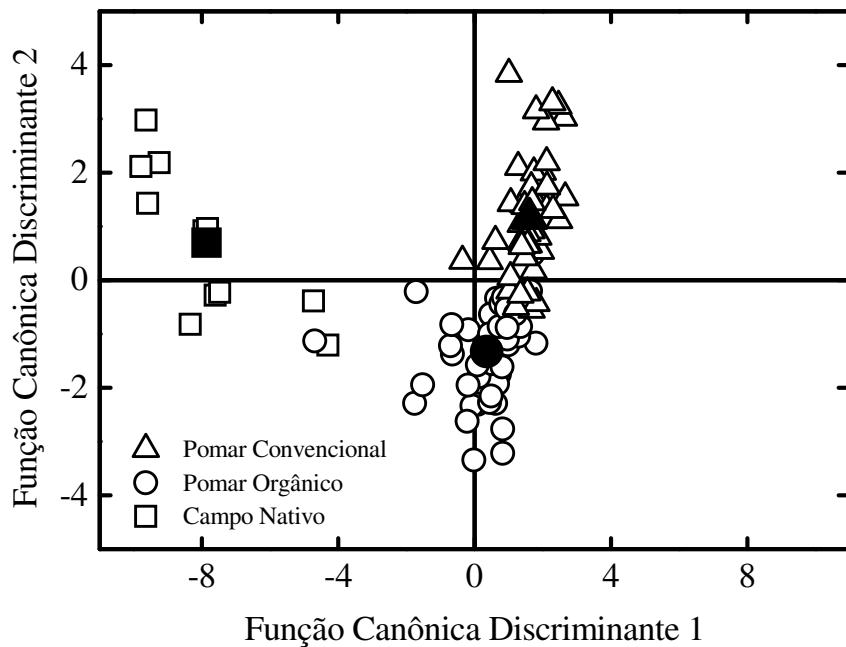


Figura 3. Coeficientes canônicos homogeneizados (CCH) das funções canônicas discriminantes 1 e 2 em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo considerando-se pH em H_2O , pH em CaCl_2 , Alumínio, Potássio, Sódio, Cálcio, Magnésio, Fósforo e Carbono Orgânico Total. Símbolos cheios representam os valores médios para cada área. Urupema-SC.

Tabela 3. Média dos coeficientes canônicos homogeneizados da função canônica discriminante 1 (FCD1) e da função canônica discriminante 2 (FCD2) das variáveis químicas analisadas.

Área	FCD1	FCD2
Pomar Convencional	1,511 a	1,224 a
Pomar Orgânico	0,465 b	-1,377 c
Campo Nativo	-7,906 c	0,612 b

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD a 5% de significância.

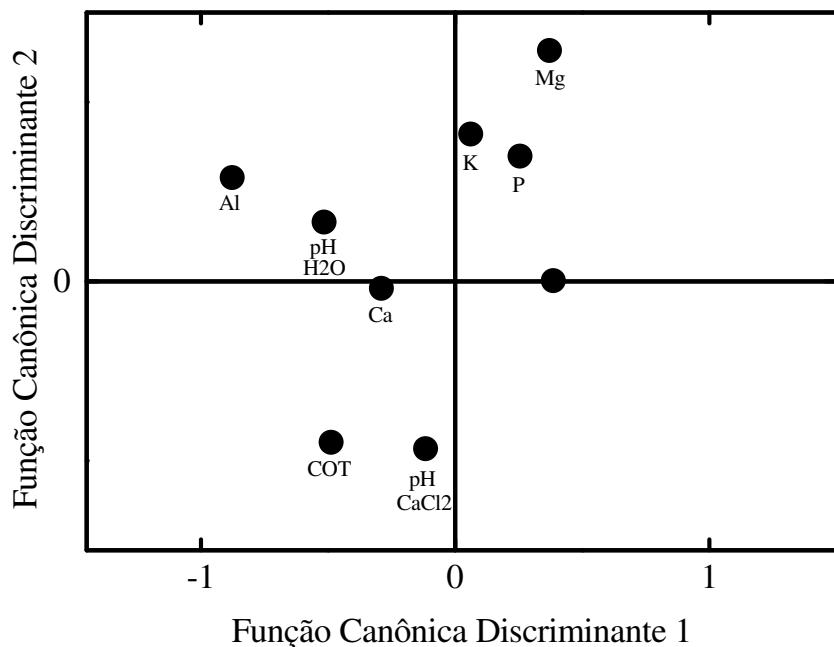


Figura 4. Contribuição relativa das variáveis estudadas para o estabelecimento das funções canônicas discriminantes.

Tabela 4. Valores de coeficiente canônico homogeneizado (CCH), coeficiente de correlação (r) e coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP) para a função canônica discriminante 1 (FCD1) e função canônica discriminante 2 (FCD2). Atributos químicos avaliados em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo. Urupema-SC, 2003. Média de 48 repetições para cada pomar e 12 para o Campo Nativo.

Atributo	FCD1			FCD2		
	CCH	r	TDP	CCH	r	TDP
pH H₂O	-0,515	0,313	-0,161	0,330	0,136	0,045
pH CaCl₂	-0,116	0,305	-0,035	-0,934	0,125	-0,117
Alumínio	-0,877	-0,892	0,783	0,578	0,244	0,141
Potássio	0,061	0,028	0,002	0,821	0,384	0,316
Sódio	-0,290	-0,158	0,046	-0,039	0,141	-0,006
Cálcio	0,387	0,356	0,138	0,004	0,163	0,001
Magnésio	0,372	0,343	0,127	1,289	0,144	0,185
Fósforo	0,256	0,170	0,044	0,698	0,296	0,207
Carbono Orgânico Total	-0,488	-0,118	0,057	-0,899	-0,254	0,228

estudo, em relação ao Alumínio. Entretanto, deve-se considerar que em nosso trabalho foi incluída uma área de Campo Nativo nas amostragens. Por apresentar pH diferenciado dos pomares e, conseqüentemente, maiores diferenças de Alumínio, a inclusão desta área testemunha proporcionou respostas diferenciadas com relação à TDP. Esta hipótese é reforçada pelos dados encontrados por ALBUQUERQUE (2003), ao trabalhar em áreas nativas e reflorestadas na região Sul do Brasil, abrangendo diferenças consideráveis nos valores de pH e Al. Dentre os atributos químicos avaliados pela autora, o Alumínio foi o que mais contribuiu para a separação entre as áreas através dos valores de TDP, seguido pelo pH. Desta maneira, parece haver evidências de que esta característica possui grande poder discriminante quando áreas com variações nos valores de pH são avaliadas.

O uso do Alumínio como indicador químico é reforçado ainda pela facilidade de se trabalhar com a metodologia e de a análise possuir um custo baixo, duas características importantes ao selecionar-se indicadores (REICHERT *et al.*, 2003, LEWANDOWSKI & ZUMWINKLE, 1999).

4. CONCLUSÕES

As áreas estudadas mostraram-se como três grupos distintos entre si, porém as características do Pomar Orgânico aproximaram-se mais às do Campo Nativo.

Alumínio, Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total e Glomalina Total são três indicadores que refletiram sensivelmente as alterações no solo, nas condições estudadas. Estes atributos são recomendados para avaliar-se os efeitos do manejo de pomares orgânicos e convencionais frente à condição natural de uso do solo.

Entretanto, como este é o primeiro estudo desta natureza realizado no Brasil, ressalta-se a importância do desenvolvimento de novos trabalhos que contemplam esta linha de pesquisa. Estes indicadores devem ser validados para outros solos com sistemas convencionais e orgânicos de produção de maçã no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, P.P. Aspectos ecológicos de populações de fungos micorrízicos arbusculares em reflorestamentos e em mata nativa de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Lages, SC, UDESC, 2003. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).
- AMARANTE, C.V.T.; ALBUQUERQUE, J.A.; MAFRA, A.L.; MERTZ, L.M.; COSTA, A. Análise multivariada de atributos físicos e químicos do solo em pomares de macieira conduzidos nos sistemas de produção orgânico e convencional. In: FERTBIO 2004, Lages, 2004. Resumos expandidos. Lages, SBCS/SBM/CAV-UDESC, 2004. CD-ROM.
- ARMITAGE, A.M. Evaluation of new floricultural crops: A systems approach. **HortScience**, 21: 9-11, 1986.
- CARDIM, D.C.; CARLINI-GARCIA, L.A.; MONDIN, M.; MARTINS, M.; VEASEY, E.A.; ANDO, A. Variabilidade intra-específica em cinco populações de *Oncidium varicosum* Lindl. (Orchidaceae – Oncidiinae) em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Botânica**, 24(4): 553-560, 2001
- CRUZ-CASTILHO, J.G.; GANESHANANDAM, S.; MACKAY, B.R.; LAWES, G.S.; LAWOKO, C.R.O.; WOOLEY, D.J. Applications of canonical discriminant analysis in horticultural research. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 29 (10): 1115-1119, 1994.
- GLOVER, J.D.; REGANOLD, J.P.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 80: 29-45, 2000.
- GOH, K.M.; PEARSON, D.R.; DALY, M.J. Effects of apple orchard production systems on some important soil physical, chemical and biological quality parameters. **Biological Agriculture and Horticulture**, 18: 269-292, 2001.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Multivariate data analysis with readings**. Macmillan, New York, 1987.
- LEWANDOWSKI, A. ZUMWINKLE, M. 1999. **Assessing the soil system: A review of soil quality literature**. Minnesota Department of Agriculture, Energy and Sustainable Agriculture Program, St. Paul., Minnesota, USA. p.1-65.
- LOVELOCK, C.E.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: an example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 36(6): 1009-1012, 2004
- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Classification of successional forest stages in the Brazilian Amazon basin. **Forest Ecology and Management**, 181: 301-312, 2003.

LUTGEN, E.R.; MUIR-CLAIMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M.C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**, 257: 71-83, 2003.

MORTON, J.B. Problems and solutions for the integration of glomalean taxonomy, systematic biology, and the study of endomycorrhizal phenomena. **Mycorrhiza**, 2: 97-109, 1993.

PIRES DA SILVA, A.; IMHOFF, S.; GIAROLA, N.F.B.; ROMENA, C.A. Análisis multivariado y univariado en la discriminación de sistemas de uso de suelos del centro de Santa Fe. **Edafología**, 8: 21-34, 2001.

REGANOLD, J.P.; GLOVER, J.D.; ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 80: 29-45, 2000.

REGANOLD, J.P.; PALMER, A.S.; LOCKHART, J.C.; MACGREGOR, A.N. Soil quality and financial performance of biodynamic and conventional farms in New Zealand. **Science**, 260: 344-349, 1993.

REICHERT, J.M., REINERT, D.J., BRAIDA, J.A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, 27: 29-48, 2003.

SANTOS, J.C.P.; BARETTA, D.; MANFROI, A.F.; AMARANTE, C.V.T.; BERTOL, I.; ALVES, M.V. O preparo e cultivo do solo influenciam na ocorrência dos principais grupos da fauna edáfica. In: FERTBIO 2004, Lages, 2004. Resumos expandidos. Lages, SBCS/SBM/CAV-UDESC, 2004. CD-ROM.

SCHLOTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 98: 255-262, 2003.

SWEZEY, S.L.; WERNER, M.R.; BUCHANAN, M.; ALLISON, J. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. **American Journal of Alternative Agriculture**, 13(4): 162-180, 1998.

WERNER, M.R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. **Applied Soil Ecology**, 5: 151-167, 1997.

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

WRIGHT, S.F.; STARR, J.L.; PALTINEANU, I.C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, 63: 1825-1829, 1999.

WRIGHT, S.F.; UPADHYAYA, A. Quantification of arbuscular mycorrhizal activity by the glomalin concentration on hyphae. **Mycorrhiza**, 8: 283-285, 1999.

CAPÍTULO 3

MICÉLIO, GLOMALINA E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM POMAR CONVENCIONAL, POMAR ORGÂNICO E CAMPO NATIVO NO SUL DO BRASIL.

RESUMO

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) exercem um importante papel na ecologia do ambiente edáfico, e como resultado desta interação as práticas de manejo alteram a infectividade micorrízica e a produção de micélio e glomalina, afetando processos no solo tais como a agregação. O objetivo deste estudo foi avaliar relações entre a estabilidade de duas classes de agregados, expressa pelo diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade (IE), carbono orgânico total (COT), comprimento de micélio extra-radicular total (CMET), glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) em um pomar convencional (PC) e orgânico (PO) de maçãs e um campo nativo (CN). A área de campo apresentou os maiores valores de DMG (5,63 mm), porém os menores de CMET (30,85 cm). Os pomares e o campo não diferiram em seu conteúdo de GFE, mas pôde-se observar aumentos desta proteína do inverno para o verão em agregados com 8 a 4,76 mm de diâmetro (0,94 para 1,19 mg g⁻¹). Entretanto, ambos os pomares tiveram concentrações de GT menores que as encontradas no campo durante o inverno, ocorrendo decréscimos desta proteína de uma estação para outra. Para ambas as classes de agregados foram verificadas correlações negativas entre a estabilidade e COT. Por outro lado, houve uma forte correlação positiva entre DMG e Al, o que também foi observado para o IE. O papel dos fatores químicos no processo de agregação reforça sua importância em solos altamente intemperizados. Ele também chama nossa atenção para futuros estudos sobre a forma de participação da glomalina na conservação dos solos tropicais. O Pomar Convencional foi o sistema que mais diminuiu as quantidades de GT e COT na classe de agregados com 2 a 1 mm frente ao campo nativo, promovendo maior degradação do solo da região.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi have an important role in soil environmental ecology and, as a result of this interaction, management practices alter mycorrhizae infectivity, hyphae and glomalin production, affecting soil processes as aggregation. The aim of this study was to report relationships among stability of 2 aggregate classes expressed by geometric mean diameter (GMD) and stability index (SI), total organic carbon (TOC), hyphal length (HL), easily extractable glomalin (EEG) and total glomalin (TG) in organic and conventional systems for apple production and in a native grassland area. Native grassland presented the highest values of GMD (5.63 mm), but the smallest HL (30.85 cm). The orchards and the grassland did not have differences of EEG content, but we can observe increases of EEG from winter to summer in 8-4.76 mm aggregates (0.94 to 1.19 mg g⁻¹). However, both orchards had TG concentrations smaller than the ones found in the grassland during the winter, occurring decreases of TG from one to other season. For both classes of aggregates we found negative correlations between aggregate stability and TOC. On the other hand, there was a positive correlation for GMD and Al. The same negative correlation was reported for SI and TOC. The role of chemical factors in aggregation process enforces its importance in high weathered soils. Also, it calls our attention for further studies focusing on other participation of glomalin through soil conservation in tropical soils. Conventional Orchard was the system that decreased most the amount of TG and TOC in 2-1 mm aggregates in comparison to the Native Grassland, promoting more degradation of the soil from this region.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas recentes têm mostrado que os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) influenciam positivamente a conservação do solo em áreas nativas e sistemas agrícolas (WRIGHT *et al.*, 1996; RILLIG, 2004). Ao formarem a simbiose com as plantas, as hifas produzidas exploram o solo formando uma rede que envolve os agregados conferindo estabilidade aos mesmos (JASTROW & MILLER, 1997). Esta rede de hifas também excreta uma proteína denominada glomalina, responsável pela adesão a materiais de origem mineral, aumentando a ligação entre eles (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996). Esta proteína é fortemente correlacionada à estabilidade dos agregados, o que consiste em um importante processo ecológico para evitar perdas de solo através da erosão em sistemas de clima temperado (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996; RILLIG *et al.*, 1999). No entanto, há pouca informação a respeito do papel dos FMAs em processos ecológicos do solo em sistemas naturais ou cultivados sob clima tropical e subtropical.

Este é um fato preocupante uma vez que alguns agrosistemas não preservam as condições ótimas para a funcionalidade dos FMAs (DOUDS & MILLNER, 1999; JEFFRIES *et al.*, 2003). Atualmente, percebe-se que uma grande quantidade de áreas agrícolas vêm sendo convertidas de sistemas convencionais para orgânicos para atender questões de caráter econômico e ambiental (GLIESSMAN, 2001; ORMOND *et al.*, 2002). Entretanto, há uma lacuna no entendimento de como estes diferentes sistemas de produção afetam a funcionalidade dos FMAs no solo. Frente a este quadro, o presente trabalho teve o objetivo de estudar diferenças e correlações entre estabilidade de agregados, atividade de FMAs e propriedades químicas em sistemas de produção convencional e orgânica de maçãs em um solo ácido localizado no sul do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido em um Pomar Convencional e um Pomar Orgânico, ambos localizados no sul do Brasil (cidade de Urupema – SC, 28°S, 49°54'L). O clima da região é caracterizado como Mesotérmico úmido, com precipitação anual média de 1.317 mm. O solo é classificado como Cambissolo Húmico alumínico, e sua textura na camada de 0 a 10 apresenta 100 a 160 g kg⁻¹ de areia, 270 a 380 g kg⁻¹ de silte e 490 a 570 g kg⁻¹ de argila. Além dos pomares, tomou-se também uma área de campo nativo, assumida como testemunha. As propriedades químicas e porosidade total do solo estão expressas na **Tabela 1**.

As amostragens foram realizadas em duas épocas distintas: Julho de 2003, inverno, que é o período de dormência das macieiras, e Janeiro de 2004, verão, correspondendo à época de frutificação. Existe uma grade de amostragem pré-estabelecida nos pomares, que é utilizada para outros estudos. Ela compreende uma área de 45 x 54 m abrangendo 24 macieiras, onde a projeção da copa de cada área compreende um ponto amostral. Destes 24 pontos, foram escolhidos 6 de maneira aleatória para conduzir as coletas. No Campo Nativo, as amostragem foram conduzidas em 6 pontos respeitando a mesma distância encontrada entre as macieiras nos pomares – 18 metros entre linhas de plantio e 9 metros entre plantas da mesma linha.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0 a 10 cm, e os procedimentos analíticos foram conduzidos no Laboratório de Solos e no Laboratório de Microbiologia do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV – UDESC).

O comprimento de micélio extra-radicular total (CMET) em cada classe de agregados foi determinado utilizando-se duas repetições de 10 g de solo. As hifas foram extraídas por peneiramento úmido e filtração a vácuo com membrana de nitrato-celulose

Tabela 1. Valores médios de na camada de 0 a 10cm de profundidade. Caracterizações realizadas em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo em Urupema – SC. Médias de 6 repetições para cada área.

PROPRIEDADE	Pomar	POMAR	Campo
	Convencional	Orgânico	Nativo
Inverno			
Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)	-	-	-
pH H ₂ O	6,58	5,60	4,65
pH CaCl ₂	5,75	4,99	4,06
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,32	2,12
Ca (cmol _c dm ⁻³)	11,02	6,65	1,63
Mg (cmol _c dm ⁻³)	6,28	3,67	1,23
K (cmol _c dm ⁻³)	0,58	0,51	0,53
Na (cmol _c dm ⁻³)	0,12	0,11	0,16
P (mg dm ⁻³)	10,07	8,43	4,49
VERÃO			
Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)	0,64*	0,60	0,58
pH H ₂ O	6,40	5,60	4,68
pH CaCl ₂	5,77	4,91	3,87
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,11	2,38
Ca (cmol _c dm ⁻³)	9,34	6,48	1,22
Mg (cmol _c dm ⁻³)	5,90	3,80	1,11
K (cmol _c dm ⁻³)	0,47	0,42	0,53
Na (cmol _c dm ⁻³)	0,11	0,11	0,14
P (mg dm ⁻³)	12,35	12,75	3,82

* Dados coletados em apenas uma época porque esta é uma propriedade física considerada inalterada por curtos intervalos de tempo.

segundo metodologia proposta por MELLONI (1996). Para este processo, as amostras foram inicialmente agitadas e suspendidas em 500 mL de água. A suspensão foi passada através de 2 peneiras sobrepostas, com malha de 1 e 0,25 mm, sendo este processo repetido por três vezes. O filtrado foi agitado em liquidificador por 30 segundos. Em seguida, ele sofreu decantação durante 2 minutos e uma alíquota de 500 ml foi despejada sob uma peneira com malha de 53 µm. O material remanescente foi transferido para um frasco onde o volume foi ajustado para 11 mL com água destilada.

Uma alíquota de 5 mL foi então pipetada sob filtros de nitrato-celulose depositados em uma bomba de vácuo, procedendo-se a filtração. A membrana foi transferida para uma lâmina de vidro e levada ao microscópio óptico para observação. A quantificação do CMET foi realizada através do método de interseção quadriculada (MELLONI, 1996), com aumento de 156 vezes.

A quantificação de glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT) foram realizadas segundo o ensaio de BRADFORD (1976) modificado por WRIGHT & UPADHYAYA (1998). Para a quantificação de GFE, foram utilizadas duas repetições de 1,0g de terra fina seca ao ar (TFSA). A extração foi feita com 8 mL de citrato de sódio 20mM pH 7,0 durante 30 minutos a 121°C. A Glomalina Total (GT) foi extraída com citrato de sódio 50mM pH 8,0 ao longo de 3 ciclos de autoclavagem a 121°C, cada ciclo com duração de 1 hora. O extrator foi separado do solo através de centrifugação a 3.500 rpm durante 10 minutos. A proteína presente no sobrenadante foi quantificada através do ensaio de Bradford, usando soro-albumina bovina como padrão (WRIGHT *et al.*, 1996). A concentração de glomalina foi corrigida para mg g^{-1} considerando-se o peso seco do solo e o volume total de sobrenadante. Neste estudo, não foi possível realizar o ensaio de imunoreatividade (ELISA). Porém, há claras evidências de que a GFE e a GT possuem fortes correlações com as frações imunoreativas e, consequentemente, estabilidade de agregados. Desta maneira, o ensaio de Bradford consiste em uma maneira simples e confiável de avaliar as correlações entre a estabilidade do solo e práticas agronômicas quando não se é possível conduzir um ensaio de ELISA (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; WRIGHT *et al.*, 1999).

O Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado pelo método de oxidação com dicromato de acordo com TEDESCO *et al.* (1995). Para esta análise, duas repetições de cada amostra foram consideradas.

Para a caracterização física do solo, avaliou-se a estabilidade úmida dos agregados segundo os métodos estabelecidos por KEMPER & CHEPIL (1965) e KEMPER & ROSENAU (1986), considerando a presença e a ausência de areia. Estas análises foram realizadas dentro do período de 1 semana a partir da data de coleta.

Para o primeiro método, utilizou-se 25 g de solo em duplicata contendo agregados com 8 a 4,76 mm de diâmetro, que foram umedecidos por capilaridade durante 10 minutos. Em seguida, os agregados sofreram agitação em água por 5 minutos no aparato de peneiras descrito por KEMPER & CHEPIL (1965). Após este período, o solo remanescente em cada peneira foi seco a 105°C e pesado. Posteriormente estes agregados foram dispersos com NaOH 5%, e a fração areia grossa contida neles foi seca a 105°C e pesada. Os valores iniciais e finais do peso dos agregados foram corrigidos de acordo com o peso desta fração grosseira ($> 0,25$ mm). A estabilidade dos agregados foi expressa pelo valor de Diâmetro Médio Geométrico (DMG), obtido a partir da massa de solo agregado remanescente após a peneiragem úmida e considerando a presença (GMDpa) ou a ausência de areia (GMDaa).

Para o segundo método, utilizou-se duas repetições de 4 g de agregados em duplicata com 2 a 1 mm de diâmetro, umedecidos por capilaridade durante 10 minutos. O solo sofreu agitação em água durante 10 minutos no aparato descrito por KEMPER & ROSENAU (1986). O solo remanescente na peneira foi seco a 105°C e pesado. A correção do peso para a fração grosseira foi realizada conforme já descrito para a metodologia de KEMPER & CHEPIL (1965). A estabilidade de agregados consiste na massa de solo restante após a peneiragem úmida como um percentual da massa inicial. Ela representa um Índice de Estabilidade, considerando a presença (IEpa) ou ausência de areia (IEaa).

As propriedades do solo foram submetidas à análise de variância (ANOVA) utilizando-se o programa SAS (SAS Institute, 1995). O sistema de produção e a época do ano foram considerados fatores fixos. As diferenças de médias foram consideradas significantes a um nível de $P < 0,05$. A separação delas foi realizada através do teste de Duncan. Posteriormente, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis biológicas, físicas e químicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento de micélio extra-radicular total (CMET) foi maior nos pomares que no campo nativo para ambas as classes de agregados, cerca de 19% para a classe de 8 a 4,76 mm e 34% para a classe de 2 a 1 mm (**Figura 1**). Não houve efeito de época para esta variável biológica. Valores de CMET comumente são menores em solos cultivados que em áreas nativas devido ao fato de que eles possuem maiores níveis de fósforo disponível, o que inibe o crescimento dos FMAs (NOGUEIRA & CARDOSO, 2000; NÓBREGA *et al.*, 2001). Neste estudo, entretanto, os valores de CMET foram fortemente influenciados pelo alumínio (**Tabelas 3 e 4**). Sabe-se que o crescimento das espécies de FMAs é afetado por diferentes níveis de pH – a calagem do solo nativo pode ter eliminado a ação fungistática do alumínio, estimulando a produção de micélio (SIQUEIRA *et al.*, 1984; LAMBAIS & CARDOSO, 1989; ABBOTT & ROBSON, 1991). A prática da calagem antes da implantação dos pomares pode também ter resultado em diferenças na diversidade ao selecionar espécies com maiores taxas de produção de CMET (NOGUEIRA *et al.*, 1998, RILLIG *et al.*, 2001; RILLIG *et al.*, 2002). Estas diferenças foram observadas e discutidas no **Capítulo 1**. Nos pomares há duas vezes mais esporos que no campo nativo (média de 142 esporos por ponto de amostragem em cada pomar e 79 no campo), o que indica maior atividade dos FMAs, que seria responsável pelos maiores valores de CMET.

As médias de Glomalina Facilmente Extraível (GFE) variaram de 0,87 a 1,26 mg g⁻¹ nos agregados de 8 a 4,76 mm (**Tabela 2**). Não foram encontrados estudos prévios sobre glomalina nesta fração do solo. Não houve diferenças na produção de GFE entre os pomares e o campo, porém os valores aumentaram do inverno para o verão de 0,87 para 1,21 mg g⁻¹ de GFE.

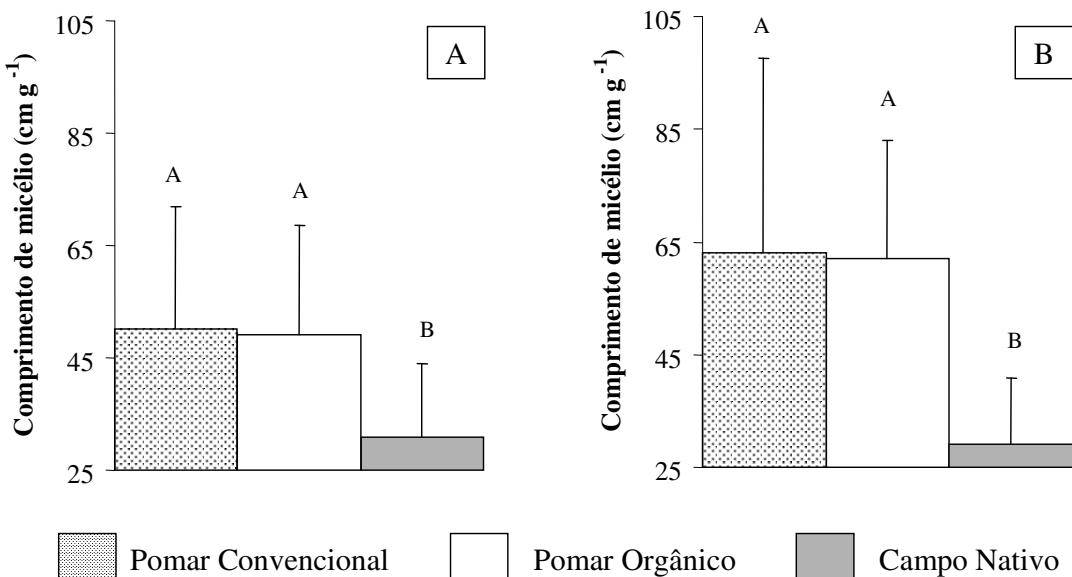


Figura 1. Comprimento médio de micélio extra-radicular total em agregados de 8 a 4,76 mm (A) e 2 a 1 mm (B). Os dados representam a média + erro padrão ($n = 6$).

Tabela 2. Valores médios de Glomalina Facilmente Extraível e Glomalina Total dos agregados com 2 a 1 mm de diâmetro em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo no município de Urupema – SC, durante as estações de inverno (julho de 2003) e verão (janeiro de 2004). Média de 6 repetições.

Área	Glomalina Facilmente Extraível (mg g ⁻¹)		Glomalina Total (mg g ⁻¹)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Pomar Convencional	1,11 Ba*	1,08 Aa	5,07 Ba	4,55 Aa
Pomar Orgânico	1,30 Ba	1,28 Aa	5,85 Aa	5,56 Aa
Campo Nativo	1,80 Aa	1,12 Ab	5,82 Aa	4,98 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si segundo o teste de Duncan a 5% de confiança. A = comparação dentro de colunas; a = comparação dentro de linhas.

Aumentos de GFE e também de GT a curto prazo não são comuns na literatura, uma vez que em clima temperado a glomalina não é considerada sensível a variações sazonais (LUTGEN *et al.*, 2003). Nos trópicos, entretanto, estima-se que a produção desta proteína é maior que em regiões de clima temperado, o que justificaria estas diferenças

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis químicas, físicas e biológicas. Dados referentes aos agregados com 8 a 4,76 mm de diâmetro. Valores para o período de inverno são expressos em fonte normal, valores para o período de verão estão expressos em negrito. Médias de 18 repetições para cada época.

	GFE	GT	CMET	COT	DMGpa	DMGaa	PT	Argila	Al	pH
GFE	-	0.134	-0.150	0.026	-0.179	-0.212	-0.118	-0.115	0.128	-0.215
GT	0.034	-	-0.310	-0.125	0.051	0.036	0.329	0.094	0.443	0.392
CMET	0.241	0.241	-	-0.054	-0.374	-0.372	-0.426	-0.281	-0.561*	0.523*
COT	0.483*	0.318	0.009	-	0.344	0.230	0.496*	-0.382	0.187	-0.557*
DMGpa	-0.422	-0.155	-0.117	-0.534*	-	0.996**	0.294	-0.142	0.334	-0.352
DMGaa	-0.404	-0.267	-0.166	-0.554*	0.967**	-	0.272	-0.124	0.334	-0.313
PT	-0.027	0.016	-0.122	-0.291	0.460	0.272	-	0.162	0.623*	-0.782**
Argila	-0.087	-0.193	-0.389	-0.447	-0.012	-0.012	0.162	-	0.262	-0.108
Al	-0.481*	-0.353	-0.341	-0.734**	0.805**	0.762**	0.485*	0.368	-	-0.833**
pH	0.420	0.360	0.312	0.663**	-0.693**	-0.651*	-0.543*	-0.432	-0.861**	-

* = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis químicas, físicas e biológicas. Dados referentes aos agregados com 2 a 1 mm de diâmetro. Valores para o período de inverno são expressos em fonte normal, valores para o período de verão estão expressos em negrito. Médias de 18 repetições para cada época.

	GFE	GT	CMET	COT	IEpa	IEaa	PT	Argila	Al	pH
GFE	-	0.712**	0.348	0.544*	-0.239	-0.229	-0.159	-0.422	-0.094	-0.083
GT	0.382	-	0.098	0.797**	-0.076	-0.086	0.078	-0.193	-0.044	-0.316
CMET	-0.527*	-0.229	-	-0.120	-0.051	-0.030	-0.740**	0.002	-0.474*	0.651*
COT	0.322	0.469*	-0.280	-	-0.170	-0.186	0.396	-0.014	0.245	-0.572*
IEpa	-0.285	-0.022	0.089	-0.499*	-	0.997**	0.259	-0.091	0.332	-0.201
IEaa	-0.248	-0.082	0.089	-0.560*	0.982**	-	0.224	-0.099	0.308	-0.169
PT	0.440	0.461	-0.217	0.506*	-0.361	-0.313	-	0.162	0.623*	-0.782**
Argila	0.394	-0.065	-0.389	-0.272	0.121	0.217	0.162	-	0.262	-0.108
Al	0.824**	0.204	-0.509*	0.192	-0.349	-0.291	0.485*	0.368	-	-0.833**
pH	-0.789**	-0.426	0.376	-0.185	0.026	-0.012	-0.543*	-0.432	-0.834**	-

* = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%.

do inverno para o verão. Nas condições climáticas da área estudada também espera-se pequenas taxas de decomposição devido às baixas temperaturas médias anuais, contribuindo para o acúmulo de GFE no solo. Há outro aspecto que contribui para aumentos de GFE, que é a decomposição de hifas – quanto maior a degradação, mais GFE liberada para o solo (LUTGEN *et al.*, 2003). Porém, neste estudo este tipo de contribuição não parece acontecer, pois não foram detectadas perdas de CMET em função da estação do ano. Assim, a GFE parece um bom indicativo da atividade de FMAs nesta classe de agregados. Aspectos de dominância de espécies também influenciam a produção de GFE, pois sabe-se que elas diferem entre si quanto à produção desta proteína. Um isolado de *Glomus etunicatum*, por exemplo, pode produzir quase 60% menos GFE que *Gigaspora gigantea* (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996). Assim, diferenças de diversidade e produção de CMET nos pomares e no campo podem auxiliar a explicar a variação de GFE nas duas estações.

Em agregados de 2 a 1mm, os valores de GFE variaram de 1,08 no pomar convencional a 1,30 mg g⁻¹ no campo nativo (**Tabela 2**). Estas concentrações são aproximadamente o dobro das observadas em sistemas agrícolas e florestas nativas de Ohio, USA (RILLIG *et al.*, 2003b) e estepes localizados na Espanha (RILLIG *et al.*, 2003a). Por outro lado, alguns sistemas temperados que foram estudados apresentaram valores de GFE maiores que os encontrados em nosso estudo (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; LUTGEN *et al.*, 2003). Em comparação com outro sistema tropical, nossos valores são próximos aos encontrados por LOVELOCK *et al.* (2004) em uma floresta tropical da Costa Rica – média de 1,68 mg g⁻¹. Vários fatores são determinantes para a produção e a decomposição da GFE, de modo que a variação de quantidades desta

proteína de uma região para outra é difícil de ser explicada, e consiste em um aspecto que necessita de futuros entendimentos.

Observou-se interação entre sistema de produção e estação do ano sobre a GFE em agregados com 2 a 1 mm (**Tabela 2**). A menor média de GFE foi encontrada no Pomar Convencional durante o inverno: 27,78% menos que o observado no Pomar Orgânico e 38,33% que o observado no Campo Nativo. Mesmo que os pomares não tenham diferido entre si estatisticamente, pode-se notar uma tendência de haver maiores valores de GFE no Pomar Orgânico. Esta tendência pode ser uma resposta ao processo de conversão: enquanto o Pomar Convencional vêm sendo cultivado sob este manejo há 12 anos, o outro pomar sofreu conversão de Convencional para Orgânico 5 anos atrás. Dentre outros aspectos, a GFE é considerada a fração de glomalinina mais recentemente depositada no solo (LUTGEN *et al.*, 2003), e este ponto de vista indicaria que o Pomar Orgânico é o sistema com atividade micorrízica mais semelhante ao Campo Nativo.

Observou-se também uma significativa redução de GFE no Campo Nativo do inverno para o verão (perda de 37,78%), o que não aconteceu em nenhum pomar dentro dos agregados de 2 a 1 mm. Este comportamento ainda não foi relatado na literatura, necessitando de análises mais detalhadas.

É importante destacar que o inverno foi a única estação em que pode-se detectar diferenças de GFE entre as três áreas (**Tabela 2**). O mecanismo que controla este processo ainda é desconhecido, mas tal época e classe de agregados podem representar uma situação propícia para detectar diferenças de atividade microbiológica promovidas pelo sistema de produção de maçãs. De maneira geral, concentrações mais altas de GFE foram encontradas em agregados com 2 a 1 mm ($1,28 \text{ mg g}^{-1}$) que em agregados com 8 a 4,76 mm ($1,06$

mg g⁻¹). Isto ocorre mesmo havendo aumentos de GFE de julho para janeiro nos agregados maiores e diminuição de GFE nos agregados menores. Estes dados refletem uma locação preferencial desta proteína no solo em agregados com 2 a 1 mm, fato que necessita ser melhor investigado.

Aumentos de GFE resultaram em aumentos de Carbono Orgânico Total (COT) em agregados com 8 a 4,76 mm durante o inverno (**Tabela 3**) e em agregados com 2 a 1 mm durante o verão, refletindo a contribuição positiva da GFE para os estoques de COT do solo (RILLIG *et al.*, 2003a; RILLIG *et al.*, 2003b).

Os pomares e o campo não tiveram diferenças de glomalina total (GT) em agregados com 8 a 4,76 mm, independente da estação. Pode-se observar aumentos de GT do inverno para o verão de 3,60 para 5,14 mg g⁻¹, padrão semelhante ao da GFE que foi discutido anteriormente.

Para agregados com 2 a 1 mm, a menor concentração de GT ocorreu no Pomar Convencional durante o verão: média de 4,55 mg g⁻¹ de proteína, enquanto o Pomar Orgânico teve 5,56 e o Campo Nativo 4,98 mg g⁻¹ (**Tabela 2**). Em outros solos sob clima temperado, em situação nativa ou cultivada, alguns autores registraram concentrações de GT menores que 5,00 mg g⁻¹ (WRIGHT *et al.*, 1999; FRANZLUEBBERS *et al.*, 2000; WRIGHT & ANDERSON, 2000; RILLIG *et al.*, 2003a; RILLIG *et al.*, 2003b), e isto ocorreu até para uma floresta tropical da Costa Rica (LOVELOCK *et al.*, 2004). Entretanto, existem alguns solos sob reflorestamento nos EUA e na Escócia e também solos altamente intemperizados no Hawaii que exibem concentrações médias de GT maiores que 10 mg g⁻¹ (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998; RILLIG *et al.*, 2001).

A diferença de GT entre o pomar convencional e o campo nativo está de acordo com uma hipótese levantada por LOVELOCK *et al.* (2004) para solos tropicais da Costa

Rica: quanto mais fértil o solo, menos glomalina ele apresenta. Neste estudo, os autores trabalharam com solos abrangendo gradientes de acidez e fertilidade (pH 4,00 a 4,52; Al 4,70 a 9,89 cmol_c dm⁻³; P 360 a 1190 mg dm⁻³; Ca 0,20 a 0,72 cmol_c dm⁻³, C 29,8 a 50,3 g kg⁻¹). Eles sugerem que em áreas menos férteis a proteína estaria mais fortemente ligada ao alumínio e ao ferro, por exemplo, sendo mais protegida da decomposição e também tendo menor imunoreatividade. De acordo com este ponto de vista, solos férteis teriam menos glomalina devido aos maiores valores de pH e atividade de decomposição acelerada. Estas observações parecem estar de acordo com nossos dados, onde o Pomar Convencional é a área mais fértil (**Tabela 1**) e apresenta os menores valores de GT em agregados de 2 a 1 mm. Entretanto, seria necessário conduzir um ensaio de ELISA para confirmar se este comportamento realmente ocorre neste solo, o que seria detectado através da perda de imunoreatividade de GT.

A exemplo do observado para glomalina facilmente extraível, a quantidade de glomalina total dos agregados com 2 a 1 mm foi menor no verão (5,03 mg g⁻¹) que no inverno (5,58 mg g⁻¹). A GT esteve positivamente correlacionada ao COT somente nos agregados menores, em ambas as estações (**Tabela 4**). Não houve diferenças no conteúdo de COT entre os pomares e o campo em agregados com 8 a 4,76 mm. O Pomar Convencional foi a única área que teve reduções de COT do inverno para o verão (**Tabela 5**). Este pomar também teve o menor valor de COT nos agregados menores sobre um efeito simples de tratamento (32,58 g kg⁻¹) quando comparado ao Pomar Orgânico (36,32 g kg⁻¹) e ao Campo Nativo (38,20 g kg⁻¹). O Pomar Convencional e o Campo Nativo apresentaram reduções de COT de uma época para outra nos agregados de 2 a 1 mm (**Tabela 5**). Perdas de matéria orgânica podem ser atribuídas a maiores temperaturas que ocorrem no verão,

Tabela 5. Valores médios de Carbono Orgânico Total de duas classes de agregados em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo no município de Urupema – SC, durante as estações de inverno (julho de 2003) e verão (janeiro de 2004). Média de 6 repetições.

ÁREA	Agregados com 8 a 4,76 mm		Agregados com 2 a 1 mm	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Pomar Convencional	36,48 ABa*	28,78 Ab	37,19 Aa	27,97 Bb
Pomar Orgânico	37,27 Aa	31,35 Aa	37,23 Aa	35,41 Aa
Campo Nativo	31,95 Ba	31,55 Aa	43,07 Aa	34,54 Ab

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si segundo o teste de Duncan a 5% de confiança. A = comparação dentro de colunas; a = comparação dentro de linhas.

acelerando as reações químicas e a atividade de decomposição biológica. O fato de haver perdas de COT em algumas situações e não em outras (**Tabela 5**) pode ser atribuído a: 1) características da matéria orgânica, uma vez que seus componentes têm resistência diferente à decomposição; 2) taxa de decomposição e diversidade da comunidade microbiológica, influenciando o balanço de COT que é mineralizado (CAMARGO *et al.*, 1999).

Os percentuais de contribuição das frações de glomalina para o conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) encontram-se na **Tabela 6**. Alguns estudos mais específicos relacionam especificamente o C da glomalina com o COT, verificando que o C da proteína representa cerca de 3 a 7% do carbono orgânico total do solo. (RILLIG *et al.*, 2001; RILLIG *et al.*, 2003a; LOVELOCK *et al.*, 2004). Como ainda não se conhece a porcentagem de carbono na glomalina para os nossos solos, as contribuições foram calculadas considerando-se quantidades de GFE e GT como um todo. Os resultados mostraram que a contribuição da proteína para o estoque de matéria orgânica foi diferente

Tabela 6. Porcentagem de contribuição da Glomalina Facilmente Extraível e da Glomalina Total para o conteúdo de Matéria Orgânica do Solo* em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo no município de Urupema – SC, durante as estações de inverno (julho de 2003) e verão (janeiro de 2004). Média de 6 repetições.

Área	Glomalina Facilmente Extraível		Glomalina Total	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
	Agregados de 8 a 4,76mm			
Pomar Convencional	1,59 NSb**	2,28 a	6,40 NSb	9,39 a
Pomar Orgânico	1,47 b	2,37 a	6,17 a	8,76 a
Campo Nativo	1,60 b	2,25 a	6,57 b	9,55 a
Agregados de 2 a 1mm				
Pomar Convencional	1,78 Ba	2,25 Aa	8,09 NSa	9,43 a
Pomar Orgânico	2,07 Aba	2,07 Aa	9,19 a	9,09 a
Campo Nativo	2,47 Aa	1,90 Aa	7,92 b	8,43 a

* Matéria Orgânica do Solo = COT * 1,72.

** Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si segundo o teste de Duncan a 5% de confiança. NS = não significativo; A = comparação dentro de colunas; a = comparação dentro de linhas. Porcentagem de contribuição = (quantidade de glomalina / quantidade de matéria orgânica) * 100.

em função da classe de agregados, o que é interessante também em termos de resistência à decomposição. Houve diminuição do COT no Pomar Convencional (agregados de 8 a 4,76 mm) e no Campo Nativo (agregados de 2 a 1 mm), e nenhuma produção adicional de GFE ou GT foi detectada, respectivamente (**Tabela 2**). Mesmo assim, a contribuição da glomalina aumentou do inverno para o verão nestas mesmas duas áreas e classes de agregados (**Tabela 6**), sugerindo a maior resistência à decomposição que esta proteína apresenta frente a outros constituintes orgânicos.

Um padrão semelhante ocorreu no Campo Nativo e no Pomar Orgânico em agregados com 8 a 4,76 mm de diâmetro: aumentos de GFE e GT para o CN e de GT para o

PO resultaram em aumentos significantes da contribuição desta proteína para o estoque de MOS (**Tabela 6**), não havendo diminuição da fração orgânica total de uma época para outra (**Tabela 5**). Nestes sistemas e classe de agregados, a glomalina exerceu um importante papel ecológico ao manter os níveis de matéria orgânica estáveis ao longo do ano.

Considerando agregados com 2 a 1 mm de diâmetro, nenhum dos pomares teve alterações na contribuição da glomalina para a MOS. Isto indica que ambos os sistemas de produção podem alterar e mascarar a dinâmica da glomalina em relação à matéria orgânica do solo.

Os pomares apresentaram os menores valores de DMGpa e DMGaa em ambas as épocas (**Figura 2**). Estes valores foram aproximadamente 0,5 mm menores que aqueles registrados no Campo Nativo. Como não pode-se notar diferenças de GFE e GT nesta classe de agregados, outros fatores estão contribuindo para a variação de DMG. Sugere-se uma influência rizosférica sobre a estabilidade, como a contribuição de polissacarídeos para a agregação (OADES, 1984). Além disso, sabe-se que diferentes espécies de plantas influenciam o DMG devido ao formato e comprimento de suas raízes (TISDALL & OADES, 1979; MILLER & JASTROW, 1990), e pode-se observar diferenças de diversidade botânica dos pomares para a área controle.

As três áreas estudadas não diferiram quanto ao Índice de Estabilidade em nenhuma das épocas de amostragem, independente da presença ou ausência de areia. As médias variaram entre 0,94 e 0,98 mm, indicando a alta estabilidade deste solo sob todas as condições avaliadas.

Nem a glomalina nem o CMET estiveram correlacionados com a estabilidade dos agregados (**Tabelas 3 e 4**). O estudo de RILLIG *et al.* (2003a) mostra que a glomalina não

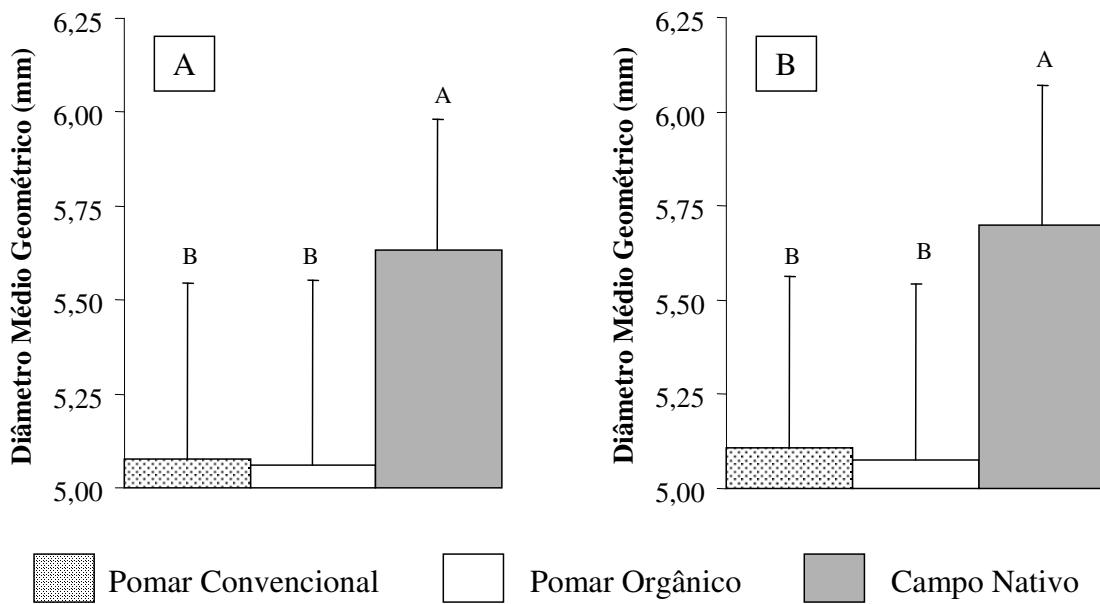


Figura 2. Valores de Diâmetro Médio Geométrico em agregados de 8 a 4,76mm considerando a presença (A) e a ausência de areia (B). Os dados representam a média + erro padrão ($n = 6$).

exerce influência sobre a estabilidade dos agregados em um solo onde a matéria orgânica não é o principal agente de ligação (RILLIG *et al.*, 2003a), o que nos sugere a contribuição de fatores de outra natureza para a agregação. O manejo do solo e o nível de fósforo podem contribuir para a ausência de correlações entre CMET e DMG ou IE que observou-se neste estudo. De acordo com NOBREGA *et al.* (2001), estes fatores alteram o efeito dos FMAs na agregação de Latossolos vermelhos no Brasil. Para solos cultivados com 300 mg kg^{-1} de P adicionado, o DMG girou em torno de 3,00 mm e não houve colonização micorrízica. Na condição de apenas 30 mg kg^{-1} de P, o DMG foi de 3,25 mm, com 30% das raízes de *Brachiaria* sendo colonizadas por *Glomus etunicatum*. O fato de avaliar a atividade micorrízica a campo pode ter sido um problema em nosso estudo, porque nesta condição não pode-se isolar efeitos de cada espécie que coloniza o hospedeiro e, consequentemente,

influencia o DMG devido a produção de CMET ou glomalina. Ao trabalhar-se com isolados, a exemplo do trabalho de NOBREGA *et al.* (2001), pode ser mais fácil identificar os efeitos dos FMAs na estabilidade dos agregados.

A ausência de influência da glomalina sobre a agregação pode estar relacionada a uma condição de “platô” - limite de estabilidade e grande acúmulo desta proteína. Em outras palavras, haveria um valor máximo de estabilidade a partir do qual o aumento da concentração de glomalina não se correlacionaria com aumentos da estabilidade do solo, ao menos utilizando-se as forças de desagregação convencionais (KEMPER & CHEPIL, 1965, KEMPER & ROSENAU, 1986). Assim, haveria necessidade de adaptação destas metodologias de estudo físico do solo para avaliar-se a relação da agregação com aspectos ecológicos dos FMAs.

Para alguns solos norte-americanos, a condição de “platô” ocorre em situações onde a estabilidade dos agregados é maior que 80% (WRIGHT & UPADHYAYA, 1998). Se esta condição for semelhante para solos brasileiros, esta é uma explicação plausível para a ausência de correlações entre glomalina e agregação. Além disso, seria interessante avaliar o papel da glomalina na ligação de microagregados, já que TISDALL & OADES (1982) sugeriram que a função de materiais orgânicos na formação de macroagregados é transitória, o que pode ser verdadeiro segundo nossos dados.

Um outro aspecto sobre FMAs e estabilidade de agregados que deve ser considerado é a interação entre os fungos e as plantas. Em um estudo desenvolvido por PIOTROWSKI *et al.* (2004), os autores mostraram que *Glomus etunicatum* reduziu a estabilidade úmida dos agregados quando este fungo estava associado com *Plantago lanceolata*: aproximadamente 75%. Por outro lado, o FMA *Gigaspora gigantea* elevou a estabilidade quando associado à mesma espécie vegetal: 85%. Este exemplo de influência

pode ser aplicado às áreas abrangidas neste estudo, onde interações entre espécies de FMAs e diferentes hospedeiros podem mascarar relações entre micélio, glomalina e agregação.

A estabilidade do solo não esteve positivamente correlacionada com o carbono orgânico total (**Tabelas 3 e 4**), em contraste com outros trabalhos em solos tropicais (ROTH *et al.*, 1991; SILVA & MIELNICZUK, 1997). Em um solo onde a matéria orgânica não representa o principal agente de ligação, podem ocorrer correlações negativas entre COT e estabilidade (RILLIG *et al.*, 2003a). Estes dados reforçam a necessidade de trabalhar-se com o fracionamento do carbono. Para esta situação, a quantificação do COT não resultou em respostas positivas, talvez porque a estabilidade estrutural do solo pode ser influenciada mais por determinadas frações de matéria orgânica (BALDOCK & KAY, 1987).

Ao invés dos atributos biológicos, os químicos tiveram maior influência sobre as propriedades físicas: Al e pH estiveram altamente correlacionados com a estabilidade e porosidade total em todas as classes de agregados e estações (**Tabelas 3 e 4**). Estas correlações positivas e de caráter freqüente revelam a predominância de fatores químicos na estruturação deste solo. Neste estudo, os dados reforçam a contribuição do alumínio na adsorção de argila através da contração da dupla camada elétrica. Este fenômeno é de natureza essencial para a manutenção da estabilidade de solos altamente intemperizados, tais como os de origem tropical (KRISMA MURTI *et al.*, 1977; KIEHL, 1979).

4. CONCLUSÕES

Por ser o sistema que mais reduziu as quantidades de GFE, GT e COT naturalmente encontradas em agregados da classe de 2 a 1 mm, o sistema de produção convencional de maçãs é o menos aconselhável para a conservação de Cambissolos na região do planalto Sul Catarinense.

A estabilidade do solo estudado pode ser atribuída à ação de fatores químicos ao invés de biológicos. Mesmo não tendo influências positivas sobre a agregação, a glomalina esteve fortemente relacionada com a dinâmica da matéria orgânica deste solo.

Este é o primeiro estudo sobre a influência do micélio e da glomalina na agregação de solos ácidos brasileiros. Mesmo tendo algumas evidências sobre o papel dos FMAs na conservação do solo, futuras pesquisas são necessárias para entender a ecologia destes microrganismos em outros sistemas naturais e agrícolas sob solos tropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 35: 121-150, 1991.
- BALDOCK, J.A., KAY, B.D., SCHNITZER, M. Influence of cropping treatments on the monosaccharide content of the hydrolysates of a soil and its aggregate fractions. **Canadian Journal of Soil Science**, 67: 489-499, 1987.
- BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 72: 248-254, 1976.
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Nitrogen fractions in the microbial biomass in soils of southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23: 181-185, 1999.
- DOUDS, D.D., MILLNER, P.D. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in acroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 74: 77-93, 1999.
- FRANZLUEBBERS, A.J., WRIGHT, S.F., STUDEMANN, J.A. Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA. **Soil Science Society of America Journal**, 64: 1018-1026, 2000.
- GLEISSMAN, S.R. **Agroecologia** – processos ecológicos em agricultura sustentável. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- JASTROW, J.D., MILLER, R.M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R., KIMBLE, J.M., FOLLETT, R.F., STEWART, B.A. (Eds.), **Soil Processes and the Carbon Cycle**, CRC Press, Boca Raton, 1997. pp.207-223.
- JEFFRIES, P., GIANINAZZI, S., PEROTTO, S., TURNAU, K., BAREA, J.M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, 37: 1-16, 2003.
- KEMPER, W.D., CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of Soil Analysis**, Part 1. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 1965. pp. 499-510.
- KEMPER, W.D., ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of Soil Analysis, Part 1**. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 1986. pp. 425-444.
- KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 264 p.

KRISMA MURTI, G.S.R.; SINGH, G.; RENGASANY, P. The nature of soil clays and the stability of microaggregates. **Australian Journal of Soil Research**, 15: 115-119, 1977.

LAMBAIS, M.R.; CARDOSO, E.J.B.N. Germinação de esporos e crescimento do tubo germinativo de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em diferentes concentrações de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13: 151-154, 1989.

LOVELOCK, C.E., WRIGHT, S.F., CLARK, D.A., RUESS, R.W. Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. **Journal of Ecology**, 92: 278-287, 2004.

LUTGEN, E.R.; MUIR-CLAIMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M.C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**, 257: 71-83, 2003.

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

MILLER, R.M., JASTROW, J.D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungi interactions with soil aggregation. **Soil Biology and Biochemistry**, 22 (5): 579-584, 1990.

NOBREGA, J.C.A.; LIMA, J.M.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MOTTA, P.E.F. Fosfato e micorriza na estabilidade de agregados em amostras de latossolos cultivados e não cultivados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36 (11): 1425-1435, 2001.

NOGUEIRA, M.A.; CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e crescimento da soja em função de doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 329-338, 2000.

NOGUEIRA, M.A.; PACOVSKY, R.S.; CARDOSO, E.J.B.N. Produção de micélio externo por fungos micorrízicos arbusculares e sua relação com a eficiência simbiótica. In : FERTBIO (1998 : Caxambu). Anais... Caxambu : MG, 1998. p. 300.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, 76: 319-337, 1984.

ORMOND, J.G.P., LIMA DE PAULA, S.R., FAVERET FILHO, P., ROCHA, L.T. **Agricultura orgânica**: quando o passado é futuro. Rio de Janeiro: BNDES, 2002.

PIOTROWSKI, J.S.; DENICH, T.; KLIRONOMOS, J.N.; GRAHAM, J.M.; RILLIG, M.C. The effects of arbuscular mycorrhizas on soil aggregation depend on the interaction between plant and fungal species. **New Phytologist**, 164(2): 365-373, 2004.

RILLIG, M.C., WRIGHT, S.F., ALLEN, M.F., FIELD, C.B. Rise in carbon dioxide changes soil structure. **Nature**, 400: 628, 1999.

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

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; EVINER, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant and Soil**, 238: 325-333, 2002.

RILLIG, M.C.; MAESTRE, F.T.; LAMIT, L.J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology and Biochemistry**, 35: 1257-1260, 2003a.

RILLIG, M.C., RAMSEY, P.W., MORRIS, S., PAUL, E.A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil** 253: 293-299, 2003b.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, 84: 355-363, 2004.

ROTH, D.H.; CASTRO, F.C.; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15: 241-248, 1991.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21: 313-319, 1997.

SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, D.H.; MAHMUD, A.W. Effect of liming on spore germination, germ tube growth and root colonization by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, 76: 115-124, 1984.

SKIDMORE, E.L.; LAYTON, J.B. Dry-soil stability as influenced by selected properties. **Soil Science Society of America Journal**, 56: 557-561, 1992.

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

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Science**, 17: 429-441, 1979.

TISDALL, J.M., OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, 33: 141-163, 1982.

WRIGHT, S.F.; ANDERSON, R.L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plain. **Biology and Fertility of Soils**, 31: 249-253, 2000.

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

WRIGHT, S.F., STARR, J.L., PALTINEANU, I.C. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. **Soil Science Society of America Journal**, 63: 1825-1829, 1999.

WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, 161: 575-586, 1996.

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

CONCLUSÕES GERAIS

Alguns aspectos relacionados à atividade dos FMAs são alterados significativamente com a introdução de pomares no sul do Brasil, independente do sistema de produção. Outros, entretanto, são mais alterados pelo sistema convencional que pelo orgânico, o que significa que os pomares convencionais promovem as maiores perdas biológicas frente à condição natural do solo.

Para avaliar a diferenciação entre áreas provocada pelo sistema de produção de maçãs, os atributos biológicos e químicos que mais contribuíram para a diferenciação dos sistemas foram a glomalina, o micélio e o teor de alumínio. Estes atributos merecem atenção e estudos em outros solos e locais para sua validação como indicadores de alteração da qualidade do solo em pomares de maçã.

Apesar de a atividade micorrízica não ter sido relacionada diretamente à agregação, a glomalina influenciou positivamente a dinâmica da matéria orgânica no solo da região estudada, confirmando importante papel ecológico dos FMAs e a importância de estudos sobre esta proteína em solos ácidos.

ANEXO I – CAPÍTULO 1

Tabela 1. Resultado da Análise de Variância (ANOVA) das variáveis químicas e biológicas compreendidas no Capítulo 1.

Variáveis	T	E	I ⁽¹⁾
Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total	**	**	*
Potencial de Inóculo	**	**	*
Colonização micorrízica das macieiras	-	*	-
Glomalina Facilmente Extraível	ns	ns	ns
Glomalina Total	**	*	**
Índice de Dominância de Simpson	**	*	ns
Índice de Diversidade de Simpson	**	*	ns
Índice de Diversidade de Shannon	**	*	ns
Riqueza de espécies	**	ns	ns
Número de esporos	**	**	**
pH H ₂ O	**	ns	ns
pH CaCl ₂	**	ns	ns
Alumínio	**	ns	ns
Potássio	**	**	ns
Sódio	**	ns	ns
Cálcio	**	**	ns
Magnésio	**	ns	ns
Fósforo	**	ns	ns
Carbono Orgânico Total	**	**	ns

ns = não significativo ao nível de 5%; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%.

⁽¹⁾: T = efeito simples de tratamento; E = efeito simples de época; I = interação entre tratamento e época.

Tabela 2. Valores médios e coeficientes de variação das variáveis químicas e biológicas avaliadas em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo nas épocas de Inverno (Julho de 2003) e Verão (Janeiro de 2004).

Tratamentos	Inverno	Verão	Médias	C.V. (%)
Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total (cm g ⁻¹)				
Pomar Convencional	63,72 ± 6,60 Ab	102,97 ± 6,60 Aa	83,34 ± 4,74 A	47,64
Pomar Orgânico	59,17 ± 6,60 Aa	60,08 ± 6,60 Ba	59,62 ± 4,74 B	45,88
Campo Nativo	43,60 ± 14,60 Ba	51,94 ± 14,60 Ba	47,77 ± 11,11 C	22,99
Médias	55,49 ± 5,80 b	71,66 ± 5,80 a	67,92 ± 32,82	-
C.V. (%)	39,96	56,62	48,33	-
Colonização micorrízica das macieiras (%)				
Pomar Convencional	15,55 ± 2,52 A	0,00	7,77 ± 1,41 A	108,30
Pomar Orgânico	18,52 ± 2,52 Aa	0,99 ± 0,39 b	9,75 ± 1,41 A	123,61
Campo Nativo	-	-	-	-
Médias	17,03 ± 1,41 a	0,49 ± 1,41 b	9,79 ± 8,76	-
C.V. (%)	72,42	389,36	111,75	-
Potencial de inóculo (%)				
Pomar Convencional	43,71 ± 1,59 Ba	17,46 ± 1,59 ABb	30,56 ± 1,12B	19,92
Pomar Orgânico	48,76 ± 1,59 Ba	14,14 ± 1,59 Bb	31,45 ± 1,12 B	17,73
Campo Nativo	59,69 ± 3,46 Aa	24,57 ± 3,46 Aa	42,13 ± 2,63 A	25,29
Médias	50,72 ± 1,38 a	18,72 ± 1,38 b	32,07 ± 7,78	-
C.V. (%)	15,48	56,62	24,27	-
Glomalina Facilmente Extraível (mg g ⁻¹)				
Pomar Convencional	1,29 ± 0,04 Aa	1,11 ± 0,04 Ab	1,20 ± 0,03 A	19,12
Pomar Orgânico	1,24 ± 0,04 Aa	1,23 ± 0,04 Aa	1,24 ± 0,03 A	19,31
Campo Nativo	1,20 ± 0,10 Aa	1,22 ± 0,10 Aa	1,21 ± 0,07 A	6,20
Médias	1,24 ± 0,04 a	1,19 ± 0,04 a	1,23 ± 0,22	-
C.V. (%)	15,32	18,29	17,67	-
Glomalina Total (mg g ⁻¹)				
Pomar Convencional	4,23 ± 0,11 Cb	4,88 ± 0,11 Ba	4,55 ± 0,08 C	13,15
Pomar Orgânico	5,56 ± 0,11 Aa	4,26 ± 0,11 Cb	4,91 ± 0,08 B	8,63
Campo Nativo	4,77 ± 0,25 Ba	5,46 ± 0,25 Aa	5,12 ± 0,19 A	12,36
Médias	4,86 ± 0,10 a	4,87 ± 0,10 a	4,79 ± 0,56	-
C.V. (%)	11,43	10,69	11,75	-
Índice de Dominância de Simpson				
Pomar Convencional	0,62 ± 0,04 Ba	0,67 ± 0,04 Ba	0,65 ± 0,03 B	28,75
Pomar Orgânico	0,66 ± 0,04 Bb	0,86 ± 0,04 Aa	0,76 ± 0,03 AB	25,24
Campo Nativo	0,83 ± 0,09 Aa	0,87 ± 0,09 Aa	0,85 ± 0,07 A	14,87
Médias	0,71 ± 0,04 b	0,80 ± 0,04 a	0,72 ± 0,21	-
C.V. (%)	33,33	29,11	29,74	-
Índice de Diversidade de Simpson				
Pomar Convencional	0,37 ± 0,04 Aa	0,33 ± 0,04 Aa	0,35 ± 0,03 A	52,91
Pomar Orgânico	0,34 ± 0,04 Aa	0,14 ± 0,04 Bb	0,24 ± 0,03 AB	80,19
Campo Nativo	0,17 ± 0,09 Ba	0,13 ± 0,09 Ba	0,15 ± 0,07 B	92,29
Médias	0,29 ± 0,04 a	0,20 ± 0,04 b	0,28 ± 0,21	-
C.V. (%)	65,89	103,00	77,17	-

Continua...

Tabela 2. Valores médios e coeficientes de variação das variáveis químicas e biológicas avaliadas em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo nas épocas de Inverno (Julho de 2003) e Verão (Janeiro de 2004).

Índice de Diversidade de Shannon				
Pomar Convencional	0,32 ± 0,03 Aa	0,27 ± 0,03 Aa	0,29 ± 0,02 A	48,32
Pomar Orgânico	0,26 ± 0,03 ABa	0,12 ± 0,03 Bb	0,19 ± 0,02 B	72,34
Campo Nativo	0,14 ± 0,07 Ba	0,10 ± 0,07 Ba	0,12 ± 0,06 B	96,04
Médias	0,24 ± 0,03 a	0,17 ± 0,03 b	0,23 ± 0,17	-
C.V. (%)	67,27	93,25	73,16	-
Riqueza de espécies				
Pomar Convencional	4,38 ± 0,29 Aa	4,67 ± 0,29 Aa	4,52 ± 0,20 A	24,18
Pomar Orgânico	3,12 ± 0,29 Ab	3,83 ± 0,29 Aa	3,48 ± 0,20 B	33,09
Campo Nativo	2,83 ± 0,62 Aa	2,17 ± 0,62 Ba	2,50 ± 0,48 B	62,66
Médias	3,44 ± 0,25 a	3,55 ± 0,25 a	3,89 ± 1,41	-
C.V. (%)	42,84	33,96	36,16	-
Número de esporos (ln x + 1)				
Pomar Convencional	4,25 ± 0,14 Ab	5,18 ± 0,14 ABa	4,72 ± 0,10 A	10,15
Pomar Orgânico	3,23 ± 0,14 Bb	5,32 ± 0,14 Aa	4,29 ± 0,10 A	16,97
Campo Nativo	3,89 ± 0,30 ABa	4,25 ± 0,30 Ba	4,07 ± 0,23 B	12,84
Médias	3,70 ± 0,12 b	4,92 ± 0,12 a	4,45 ± 0,67	-
C.V. (%)	19,28	13,87	15,12	-
pH H ₂ O				
Pomar Convencional	6,27 ± 0,10 Aa	6,36 ± 0,10 Aa	6,31 ± 0,07 A	6,57
Pomar Orgânico	6,02 ± 0,10 Aa	5,87 ± 0,10 Ba	5,94 ± 0,07 B	5,49
Campo Nativo	4,71 ± 0,21 Ba	4,74 ± 0,21 Ca	4,73 ± 0,16 C	3,55
Médias	5,67 ± 0,08 a	5,66 ± 0,08 a	5,97 ± 0,47	-
C.V. (%)	8,85	8,76	7,86	-
pH CaCl ₂				
Pomar Convencional	5,57 ± 0,10 Aa	5,68 ± 0,10 Aa	5,62 ± 0,07 A	7,20
Pomar Orgânico	5,35 ± 0,10 Aa	5,17 ± 0,10 Ba	5,26 ± 0,07 B	6,80
Campo Nativo	4,17 ± 0,22 Ba	3,98 ± 0,22 Cb	4,07 ± 0,17 C	3,20
Médias	5,03 ± 0,09 a	4,94 ± 0,09 a	5,28 ± 0,48	-
C.V. (%)	10,10	10,67	9,23	-
Alumínio trocável (cmol _c dm ⁻³)				
Pomar Convencional	0,04 ± 0,05 Ba	0,01 ± 0,05 Ba	0,03 ± 0,04 B	422,65
Pomar Orgânico	0,11 ± 0,05 Ba	0,10 ± 0,05 Ba	0,11 ± 0,04 B	187,10
Campo Nativo	2,13 ± 0,11 Aa	2,38 ± 0,11 Aa	2,26 ± 0,08 A	22,23
Médias	0,76 ± 0,04 a	0,83 ± 0,04 a	0,31 ± 0,25	-
C.V. (%)	111,18	62,29	81,28	-
Potássio trocável (cmol _c dm ⁻³)				
Pomar Convencional	0,73 ± 0,04 Aa	0,54 ± 0,04 Ab	0,64 ± 0,03 A	32,71
Pomar Orgânico	0,49 ± 0,04 Ba	0,32 ± 0,04 Bb	0,41 ± 0,03 B	22,76
Campo Nativo	0,58 ± 0,09 Ba	0,58 ± 0,09 Aa	0,58 ± 0,07 A	20,72
Médias	0,60 ± 0,03 a	0,48 ± 0,03 b	0,52 ± 0,20	-
C.V. (%)	36,57	47,18	38,05	-

Continua...

Tabela 2. Valores médios e coeficientes de variação das variáveis químicas e biológicas avaliadas em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo nas épocas de Inverno (Julho de 2003) e Verão (Janeiro de 2004).

Sódio trocável (cmol _c dm ⁻³)				
Pomar Convencional	0,11 ± 0,01 Ba	0,11 ± 0,01 Ba	0,11 ± 0,01 B	19,16
Pomar Orgânico	0,11 ± 0,01 Ba	0,11 ± 0,01 Ba	0,10 ± 0,01 B	21,87
Campo Nativo	0,16 ± 0,01 Aa	0,14 ± 0,01 Aa	0,15 ± 0,01A	16,97
Médias	0,13 ± 0,01 a	0,12 ± 0,01 a	0,11 ± 0,02	-
C.V. (%)	20,87	25,53	22,15	-
Cálcio trocável (cmol _c dm ⁻³)				
Pomar Convencional	9,91 ± 0,38 Aa	8,46 ± 0,38 Ab	9,18 ± 0,27 A	15,89
Pomar Orgânico	8,37 ± 0,38 Aa	6,42 ± 0,38 Bb	7,39 ± 0,27 B	23,61
Campo Nativo	1,97 ± 0,84 Ba	1,56 ± 0,84 Ca	1,76 ± 0,64 C	38,00
Médias	6,75 ± 0,33 a	5,48 ± 0,33 b	7,53 ± 1,89	-
C.V. (%)	28,60	22,29	25,02	-
Magnésio trocável (cmol _c dm ⁻³)				
Pomar Convencional	5,61 ± 0,24 Aa	5,56 ± 0,24Aa	5,58 ± 0,17 A	16,14
Pomar Orgânico	4,86 ± 0,24 Aa	4,35 ± 0,24 Ba	4,61 ± 0,17 B	20,86
Campo Nativo	1,58 ± 0,53 Ba	1,45 ± 0,53 Ca	1,51 ± 0,40 C	33,87
Médias	4,02 ± 0,21 a	3,79 ± 0,21 a	4,66 ± 1,19	-
C.V. (%)	29,74	26,28	25,50	-
Fósforo disponível (cmol _c dm ⁻³)				
Pomar Convencional	12,70 ± 0,98 Aa	12,50 ± 0,98 Aa	12,60 ± 0,69 A	39,99
Pomar Orgânico	7,98 ± 0,98 Ba	8,24 ± 0,98 ABa	8,11 ± 0,69 B	54,52
Campo Nativo	3,71 ± 2,13 Ca	3,04 ± 2,13 Bb	3,38 ± 1,62 C	6,42
Médias	8,13 ± 0,45 a	7,92 ± 0,45 a	9,66 ± 4,79	-
C.V. (%)	34,31	61,35	49,60	-
Carbono Orgânico Total (g kg ⁻¹)				
Pomar Convencional	38,38 ± 0,99 Ba	33,86 ± 0,99 Bb	36,12 ± 0,70 B	11,79
Pomar Orgânico	42,03 ± 0,99 Aa	38,22 ± 0,99 ABb	40,12 ± 0,70 A	12,69
Campo Nativo	42,98 ± 2,16 Aa	42,98 ± 2,16 Aa	42,98 ± 1,64 A	11,96
Médias	41,13 ± 0,86 a	38,36 ± 0,86 b	38,62 ± 4,85	-
C.V. (%)	9,59	15,20	12,56	-

Quadro 1. Relação de produtos aplicados no Pomar Convencional no período de 2003 a 2004.

Nº	Data	Nome Comercial	Nome Comum	Nome Químico	Grupo químico	Classe	Dose
ANO DE 2003							
01	22/09	Score	Difenoconazole	1-{2-[(-(4-clorofenoxy)-2-clorofenil]-4-metil-1,3-dioxolan-2-i)-metil}-1h-1,2,4-triazol	Triazóis	Fungicida	200 ml
		Bravonil	Chlorothalonil	Tetracloroisofitalonitrila	Fitalonitrila	Fungicida	2 kg
02	29/09	Bravonil	-----	-----	-----	-----	2 kg
		Score	-----	-----	-----	-----	200 ml
03	06/10	Bravonil	-----	-----	-----	-----	2 kg
		Score	-----	-----	-----	-----	300 ml
		Boro	Adubo foliar				
04	12/10	Score	-----	-----	-----	-----	300 ml
		Captan	Captan	n-triclorometiltio-4-ciclo-hexeno-1,2dicarboximida	Ftalimida	Fungicida	3 litros
		Boro	Adubo foliar				
05	18/10	Stroby	Kresoxim -metil	-	Estrobilurinas	Fungicida	30 ml
		Dithane	Dithane	Produto da coordenação iônica de etilenobioditiocarbamato de manganês e íon zinco	Ditiocarbamato	Fungicida	3 kg
		Zinco	Fertilizante				
06	23/10	Stroby	-----	-----	-----	-----	30 ml
		Dithane	-----	-----	-----	-----	4kg
		Boro	Adubo foliar				
07	28/10	Stroby	-----	-----	-----	-----	30 ml
		Dithane	-----	-----	-----	-----	4kg
		Fitofos	Adubo foliar				
08	04/11	Trifmine	Triflumizole	4-cloro-alfa,alfa,alfa-trifluoro-N-[1-(1H-imidazol-1-il)-2-propoxetilideno]-0-toluidino	Imidazoles	Fungicida	0,5 kg
		Dithane	-----	-----	-----	-----	1kg
		Fitofos	Adubo foliar				

Continua...

Quadro 1. Relação de produtos aplicados no Pomar Convencional no período de 2003 a 2004.

09	08/11	Trifmine	-----	-----	-----	-----	0,5 kg
		Cercobin	Thiophanate Methyl	1,2-bis-(3-metoxicarbonil-2-tioureido)-benzeno	Benzimidazol	Fungicida	0,5 kg
		Fitofos		Adubo foliar			2 litros
10	15/11	Score	-----	-----	-----	-----	200 ml
		Cercobin	-----	-----	-----	-----	0,5 kg
		Fitofos		Adubo foliar			2 litros
		Cálcio		Fertilizante			2 kg
11	21/11	Score	-----	-----	-----	-----	200 ml
		Dithane	-----	-----	-----	-----	1 kg
		Cálcio		Fertilizante			2 kg
12	26/11	Trifmine	-----	-----	-----	-----	0,5 kg
		Cercobin	-----	-----	-----	-----	2 kg
		Cálcio		Fertilizante			8 kg
13	03/12	Tetraconazol	Domark	-----	-----	Fungicida	1 litro
		Dithane	-----	-----	-----	-----	4 kg
		Supracid		Espalhante adesivo			4 litros
		Cálcio		Fertilizante			8 kg
14	06/12	Score	-----	-----	-----	-----	200 ml
		Captan	-----	-----	-----	-----	2 litros
		Fitofos		Adubo Foliar			3 litros
		Cálcio		Fertilizante			2,5 kg
15	10/12	Score	-----	-----	-----	-----	200 ml
		Cercobin	-----	-----	-----	-----	4 kg
		Sumithion	Fenitrothion	0,0-dimetil-0-(3-metil-4-nitrofenil)-tiofosfato	Organofosforado	Inseticida	4 litros
		Fitofos		Adubo Foliar			3 litros
		Cálcio		Fertilizante			12 kg
16	16/12	Score	-----	-----	-----	-----	0,75 kg
		Captan	-----	-----	-----	-----	9 litros
		Fitofós		Adubo foliar			9 litros
		Cálcio		Fertilizante			3 kg

Continua...

Quadro 1. Relação de produtos aplicados no Pomar Convencional no período de 2003 a 2004.

17	20/12	Bravonil	-----	-----	-----	-----	3 kg
		Mancozebe	Manzate	-----	-----	Fungicida	6 kg
		Chlorspyrifos	Lorsban	-----	-----	Inseticida	2 litros
		Cálcio		Fertilizante			9 kg
18	24/12	Bravonil	-----	-----	-----	-----	3 kg
		Manzate	-----	-----	-----	-----	6 kg
		Cálcio		Fertilizante			9 kg
		ANO DE 2004					
19	02/01	Domark	-----	-----	-----	-----	800 ml
		Manzate	-----	-----	-----	-----	4 kg
		Fitofos		Adubo foliar			5 litros
		Cálcio		Fertilizante			9 kg
20	06/01	Manzate	-----	-----	-----	-----	4 kg
		Sumithion	-----	-----	-----	-----	2 litros
		Fitofos		Adubo foliar			5 litros
		Cálcio		Fertilizante			12 kg
21	15/01	Manzate	-----	-----	-----	-----	6 kg
		Cálcio		Fertilizante			12 kg
		Fitofos		Adubo foliar			5 litros
22	20/01	Cercobin	-----	-----	-----	-----	2 kg
		Sumithion	-----	-----	-----	-----	2 litros
		Cálcio		Fertilizante			12 kg
23	30/01	Captan					3 litros
		Sumithion					3 litros
		Cálcio		Fertilizante			18 kg
24	05/02	Cloreto de potássio		-----			4,5 kg
25	09/02	Cloreto de cálcio		-----			12 kg
26	13/02	Captan	-----	-----	-----	-----	3 litros
		Cloreto de potássio		-----			4,5 kg

Quadro 2. Relação de produtos usados no Pomar Orgânico no período de 2003 a 2004.

Nº	Data	Produto	Dose
ANO DE 2003			
01	09/07	Calda bordaleza	1%
02	08/08	Calda bordaleza	1%
03	01/09	Calda bordaleza	1%
04	20/09	Caldabordaleza	1%
05	29/09	Caldabordaleza	0,7%
06	06/10	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Sulfato de zinco	0,25%
		Supermagro	0,25%
07	09/10	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Sulfato de zinco	0,25%
		Supermagro	0,25%
08	14/10	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Sulfato de zinco	0,25%
		Supermagro	0,25%
09	20/10	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Sulfato de zinco	0,25%
		Supermagro	0,25%
10	23/10	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Ácido bórico	0,2%
		Supermagro	3%
11	28/10	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Ácido bórico	0,2%
		Supermagro	3%
12	03/11	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Ácido bórico	0,2%
		Supermagro	3%
13	10/11	Calda bordaleza	0,7%
		Ácido bórico	0,2%
		Cloreto de Cálcio	0,25%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	4%
14	14/11	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Ácido bórico	0,2%
		Cloreto de Cálcio	0,25%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	4%
15	21/11	Calda bordaleza	0,7%
		Ácido bórico	0,2%
		Cloreto de Cálcio	0,25%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	3%

Continua ...

Quadro 2. Relação de produtos usados no Pomar Orgânico no período de 2003 a 2004.

16	27/11	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Supermagro	3%
17	05/12	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Supermagro	3%
18	09/12	Cloreto de Cálcio	0,25%
19	17/12	Cloreto de Cálcio	0,25%
20	24/12	Cloreto de Cálcio	0,25%
ANO DE 2004			
21	03/01	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	3%
22	16/01	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	4%
23	30/01	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	3%
24	13/02	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	3%
25	27/02	Calda Sulfocálcica	0,7%
		Iodo	40 ml
		Supermagro	4%

ANEXO II – CAPÍTULO 3

Tabela 1. Resultado da Análise de Variância (ANOVA) para agregados com 8 a 4,76 mm de diâmetro.

Variáveis	T	E	I ⁽¹⁾
Comprimento de Micélio Extra-radicular Total	*	ns	ns
Glomalina Facilmente Extraível	ns	**	ns
Glomalina Total	ns	**	ns
Carbono orgânico total	*	**	*
Contribuição da GFE para matéria orgânica	ns	**	ns
Contribuição da GT para matéria orgânica	ns	**	ns
Diâmetro médio geométrico com areia	*	ns	ns
Diâmetro médio geométrico sem areia	**	ns	ns

ns = não significativo ao nível de 5%; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%.

⁽¹⁾: T = efeito simples de tratamento; E = efeito simples de época; I = interação entre tratamento e época.

Tabela 2. Valores de Comprimento de Micélio Extra-Radicular, Glomalina Facilmente Extraível, Glomalina Total, Carbono Orgânico Total, Diâmetro Médio Geométrico com Areia e Diâmetro Médio Geométrico sem areia para agregados com 8 a 4,76 mm de diâmetro em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo nas épocas de Inverno (Julho de 2003) e Verão (Janeiro de 2004).

Tratamentos	Inverno	Verão	Médias	C.V. (%)
Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total (cm g ⁻¹)				
Pomar Convencional	47,37 ± 16,82 Aa	52,83 ± 17,32 Ba	50,10 ± 21,76 A	43,44
Pomar Orgânico	54,90 ± 11,61 Aa	43,50 ± 19,20 ABa	49,20 ± 19,30 A	39,23
Campo Nativo	36,71 ± 12,76 Ba	25,00 ± 11,49 Ba	30,85 ± 13,21 B	42,80
Médias	46,32 ± 7,42 a	40,44 ± 18,80 a	43,38 ± 16,04	-
C.V. (%)	16,02	46,49	36,97	-
Glomalina Facilmente Extraível (mg g ⁻¹)				
Pomar Convencional	0,99 ± 0,09 Aa	1,11 ± 0,16 Aa	1,05 ± 0,15 A	14,66
Pomar Orgânico	0,95 ± 0,17 Ab	1,26 ± 0,20 Aa	1,10 ± 0,16 A	14,26
Campo Nativo	0,87 ± 0,12 Ab	1,21 ± 0,09 Aa	1,04 ± 0,11 A	11,04
Médias	0,94 ± 0,15 b	1,19 ± 0,16 a	1,06 ± 0,15	-
C.V. (%)	16,20	13,59	13,88	-
Glomalina Total (mg g ⁻¹)				
Pomar Convencional	3,99 ± 0,39 Ab	4,62 ± 0,34 Aa	4,33 ± 0,23 A	5,38
Pomar Orgânico	3,91 ± 0,38 Aa	4,62 ± 0,59 Aa	4,26 ± 0,65 A	15,36
Campo Nativo	3,60 ± 0,45 Ab	5,14 ± 0,62 Ab	4,37 ± 0,60 A	13,86
Médias	3,83 ± 0,39 b	4,79 ± 0,49 a	4,31 ± 0,51	-
C.V. (%)	10,13	10,33	11,81	-
Carbono Orgânico Total (g kg ⁻¹)				
Pomar Convencional	36,48 ± 3,24 ABa	28,78 ± 3,82 Ab	32,63 ± 2,91 A	8,92
Pomar Orgânico	37,28 ± 3,73 Aa	31,36 ± 4,11 Aa	34,32 ± 4,22 A	12,31
Campo Nativo	31,96 ± 2,57 Ba	31,55 ± 2,32 Aa	31,75 ± 1,48 A	4,65
Médias	35,24 ± 3,72 a	30,56 ± 2,39 b	32,90 ± 3,31	-
C.V. (%)	10,56	7,83	10,07	-
Contribuição da GFE para matéria orgânica (%)				
Pomar Convencional	1,59 ± 0,21 Ab	2,28 ± 0,51 Aa	1,93 ± 0,40 A	20,44
Pomar Orgânico	1,47 ± 0,17 Ab	2,37 ± 0,47 Aa	1,92 ± 0,30 A	15,50
Campo Nativo	1,60 ± 0,26 Ab	2,25 ± 0,29 Aa	1,92 ± 0,24 A	12,72
Médias	1,55 ± 0,25 b	2,30 ± 0,44 a	1,93 ± 0,35	-
C.V. (%)	16,30	19,18	18,10	-
Contribuição da GT para matéria orgânica (%)				
Pomar Convencional	6,40 ± 0,76 Ab	9,39 ± 0,76 Aa	7,89 ± 0,87 A	11,04
Pomar Orgânico	6,17 ± 0,97 Aa	8,76 ± 1,98 Aa	7,46 ± 1,95 A	26,12
Campo Nativo	6,57 ± 0,74 Ab	9,55 ± 1,61 Aa	8,06 ± 1,11 A	13,83
Médias	6,38 ± 0,76 b	9,24 ± 0,85 a	7,80 ± 1,20	-
C.V. (%)	11,88	9,24	15,29	-

Continua...

Tabela 2. Valores de Comprimento de Micélio Extra-Radicular, Glomalina Facilmente Extraível, Glomalina Total, Carbono Orgânico Total, Contribuição da GFE e da GT para matéria orgânica Diâmetro Médio Geométrico com Areia e Diâmetro Médio Geométrico sem areia para agregados com 8 a 4,76 mm de diâmetro em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo nas épocas de Inverno (Julho de 2003) e Verão (Janeiro de 2004).

Diâmetro Médio Geométrico com areia (mm)				
Pomar Convencional	5,04 ± 0,30 Ba	5,10 ± 0,61 Aa	5,08 ± 0,44 B	8,72
Pomar Orgânico	4,96 ± 0,42 Ba	5,17 ± 0,57 Aa	5,06 ± 0,50 B	9,91
Campo Nativo	5,70 ± 0,22 Aa	5,57 ± 0,46 Aa	5,63 ± 0,28 A	4,89
Médias	5,23 ± 0,29 a	5,28 ± 0,55 a	5,26 ± 0,36	-
C.V. (%)	5,52	10,38	8,29	-
Diâmetro Médio Geométrico sem areia (mm)				
Pomar Convencional	5,08 ± 0,29 Ba	5,13 ± 0,61 Aa	5,10 ± 0,46 B	9,02
Pomar Orgânico	5,02 ± 0,39 Ba	5,13 ± 0,56 Aa	5,08 ± 0,51 B	9,99
Campo Nativo	5,83 ± 0,23 Aa	5,57 ± 0,46 Aa	5,70 ± 0,33 A	5,86
Médias	5,31 ± 0,28 a	5,27 ± 0,56 a	5,29 ± 0,43	-
C.V. (%)	5,37	10,64	8,15	-

Tabela 3. Resultado da Análise de Variância (ANOVA) para agregados com 2 a 1 mm de diâmetro.

Variáveis	T	E	I ⁽¹⁾
Comprimento de Micélio Extra-radicular Total	*	ns	ns
Glomalina Facilmente Extraível	**	*	**
Glomalina Total	*	*	ns
Carbono orgânico total	**	**	ns
Contribuição da GFE para matéria orgânica	ns	ns	*
Contribuição da GT para matéria orgânica	*	ns	ns
Índice de estabilidade com areia	ns	ns	ns
Índice de estabilidade sem areia	ns	ns	ns

ns = não significativo ao nível de 5%; * = significativo ao nível de 5%; ** = significativo ao nível de 1%.

⁽¹⁾: T = efeito simples de tratamento; E = efeito simples de época; I = interação entre tratamento e época.

Tabela 4. Valores de Comprimento de Micélio Extra-Radicular, Glomalina Facilmente Extraível, Glomalina Total, Carbono Orgânico Total, Contribuição da GFE e da GT para matéria orgânica, Índice de Estabilidade com Areia e Índice de Estabilidade sem areia para agregados com 2 a 1 mm de diâmetro em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo nas épocas de Inverno (Julho de 2003) e Verão (Janeiro de 2004).

Tratamentos	Inverno	Verão	Médias	C.V. (%)
Comprimento de Micélio Extra-Radicular Total (cm g ⁻¹)				
Pomar Convencional	71,02 ± 34,99 Aa	55,36 ± 23,58 Aa	63,19 ± 34,30 A	54,28
Pomar Orgânico	80,57 ± 35,07 Aa	43,73 ± 19,83 Ab	62,15 ± 20,76 A	33,40
Campo Nativo	29,30 ± 14,40 Ba	29,06 ± 17,48 Aa	29,18 ± 11,78 B	40,38
Médias	60,30 ± 29,42 a	42,72 ± 21,82 a	51,51 ± 27,54	-
C.V. (%)	48,80	51,07	53,46	-
Glomalina Facilmente Extraível (mg g ⁻¹)				
Pomar Convencional	1,11 ± 0,19 Ba	1,08 ± 0,26 Aa	1,10 ± 0,20 B	18,61
Pomar Orgânico	1,30 ± 0,18 Ba	1,28 ± 0,36 Aa	1,29 ± 0,27 AB	20,80
Campo Nativo	1,80 ± 0,20 Aa	1,12 ± 0,15 Ab	1,46 ± 0,19 A	13,07
Médias	1,40 ± 0,20 a	1,16 ± 0,31 b	1,28 ± 0,24	-
C.V. (%)	14,63	26,46	18,84	-
Glomalina Total (mg g ⁻¹)				
Pomar Convencional	5,07 ± 0,56 Ba	4,55 ± 0,55 Aa	4,81 ± 0,42 B	8,77
Pomar Orgânico	5,85 ± 0,28 Aa	5,56 ± 1,06 Aa	5,70 ± 0,73 A	12,89
Campo Nativo	5,82 ± 0,41 Aa	4,98 ± 0,61 Aa	5,40 ± 0,63 A	11,65
Médias	5,58 ± 0,38 a	5,03 ± 0,87 b	5,30 ± 0,61	-
C.V. (%)	6,83	17,38	11,49	-
Carbono Orgânico Total (g kg ⁻¹)				
Pomar Convencional	37,19 ± 6,84 Aa	27,97 ± 2,11 Bb	32,58 ± 3,44 B	10,55
Pomar Orgânico	37,23 ± 3,74 Aa	35,41 ± 4,56 Aa	36,32 ± 4,33 AB	11,94
Campo Nativo	43,07 ± 5,29 Aa	34,54 ± 3,79 Ab	38,80 ± 4,02 A	10,37
Médias	39,16 ± 5,58 a	32,64 ± 3,92 b	35,90 ± 4,63	-
C.V. (%)	14,24	12,01	12,89	-
Contribuição da GFE para matéria orgânica (%)				
Pomar Convencional	1,78 ± 0,46 Ba	2,25 ± 0,52 Aa	2,01 ± 0,44 A	21,81
Pomar Orgânico	2,07 ± 0,45 ABa	2,08 ± 0,40 Aa	2,07 ± 0,44 A	21,33
Campo Nativo	2,46 ± 0,43 Aa	1,90 ± 0,32 Aa	2,18 ± 0,39 A	17,85
Médias	2,10 ± 0,44 a	2,08 ± 0,50 a	2,09 ± 0,45	-
C.V. (%)	21,05	23,85	21,49	-
Contribuição da GT para matéria orgânica (%)				
Pomar Convencional	8,09 ± 1,40 Aa	9,43 ± 0,50 Aa	8,76 ± 1,18 AB	13,48
Pomar Orgânico	9,18 ± 0,79 Aa	9,09 ± 0,72 Aa	9,14 ± 0,82 A	9,01
Campo Nativo	7,91 ± 0,73 Ab	8,43 ± 1,02 Aa	8,17 ± 0,29 B	3,57
Médias	8,40 ± 1,03 a	8,98 ± 0,92 a	8,69 ± 0,92	-
C.V. (%)	12,31	10,21	10,61	-

Continua...

Tabela 4. Valores de Comprimento de Micélio Extra-Radicular, Glomalina Facilmente Extraível, Glomalina Total, Carbono Orgânico Total, Contribuição da GFE e da GT para matéria orgânica, Índice de Estabilidade com Areia e Índice de Estabilidade sem areia para agregados com 2 a 1 mm de diâmetro em áreas de Pomar Convencional, Pomar Orgânico e Campo Nativo nas épocas de Inverno (Julho de 2003) e Verão (Janeiro de 2004).

	Índice de Estabilidade com areia				
	Pomar Convencional	0,98 ± 0,02 Aa	0,98 ± 0,01 Aa	0,98 ± 0,02 A	2,59
Pomar Orgânico	0,99 ± 0,01 Aa	0,95 ± 0,06 Aa	0,97 ± 0,05 A	4,78	
Campo Nativo	0,97 ± 0,01 Ab	0,99 ± 0,01 Aa	0,98 ± 0,01 A	1,24	
Médias	0,98 ± 0,02 a	0,97 ± 0,04 a	0,98 ± 0,03	-	
C.V. (%)	1,83	4,29	3,09	-	
Índice de Estabilidade sem areia					
Pomar Convencional	0,97 ± 0,03 Aa	0,97 ± 0,01 Aa	0,97 ± 0,03 A	2,79	
Pomar Orgânico	0,99 ± 0,01 Aa	0,94 ± 0,08 Aa	0,97 ± 0,06A	6,35	
Campo Nativo	0,97 ± 0,01 Ab	0,99 ± 0,01 Aa	0,98 ± 0,01 A	1,18	
Médias	0,98 ± 0,02 a	0,97 ± 0,05 a	0,97 ± 0,04	-	
C.V. (%)	1,94	5,39	3,90	-	

Nome do arquivo: Dissertação para PDF.doc
Pasta: C:\Documents and Settings\Klauberg\My Documents\MESTRADO-SOLOS\Sonia (Não apague)
Modelo: C:\Documents and Settings\Klauberg\Application Data\Microsoft\Modelos\Normal.dot
Título: SONIA PURIN
Assunto:
Autor: usuario
Palavras-chave:
Comentários:
Data de criação: 6/12/2006 9:58 AM
Número de alterações: 3
Última gravação: 6/12/2006 10:15 AM
Gravado por: UDESC CAV
Tempo total de edição: 22 Minutos
Última impressão: 6/12/2006 10:15 AM
Como a última impressão
Número de páginas: 151
Número de palavras: 35.751 (aprox.)
Número de caracteres: 203.783 (aprox.)