

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**COBERTURAS DO SOLO E COMPARTIMENTOS DE CARBONO,
NITROGÊNIO E FÓSFORO MICROBIANOS NUM LATOSOLO
BRUNO EM POMARES DE PRODUÇÃO ORGÂNICA E INTEGRADA
DE MAÇÃ**

DENICE DE OLIVEIRA ALMEIDA

LAGES, SC

2007

DENICE DE OLIVEIRA ALMEIDA

**COBERTURAS DO SOLO E COMPARTIMENTOS DE CARBONO,
NITROGÊNIO E FÓSFORO MICROBIANOS NUM LATOSOLO
BRUNO EM POMARES DE PRODUÇÃO ORGÂNICA E INTEGRADA
DE MAÇÃ**

LAGES, SC

2007

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE MESTRADO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**COBERTURAS DO SOLO E COMPARTIMENTOS DE CARBONO,
NITROGÊNIO E FÓSFORO MICROBIANOS NUM LATOSOLO
BRUNO EM POMARES DE PRODUÇÃO ORGÂNICA E INTEGRADA
DE MAÇÃ**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

LAGES, SC

2007

DENICE DE OLIVEIRA ALMEIDA
Graduada em Agronomia – CAV/UDESC / Lages-SC

**COBERTURAS DO SOLO E COMPARTIMENTOS DE CARBONO,
NITROGÊNIO E FÓSFORO MICROBIANOS NUM LATOSSOLO
BRUNO EM POMARES DE PRODUÇÃO ORGÂNICA E INTEGRADA
DE MAÇÃ**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovado em: 27/07/2007
Pela banca examinadora

Homologado em:
Por

Dr. Osmar Klauberg Filho
Orientador – UDESC/Lages-SC

Dr. Osmar Klauberg Filho
Coordenador Técnico do Curso de Mestrado em
Ciência do Solo e Coordenador do Programa de
Mestrado em Agronomia
UDESC/Lages-SC

Dr. Júlio Cesar Pires Santos
UDESC/Lages-SC

Dr. Adil Knackfuss Vaz
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages-SC

Dr. Álvaro Luiz Mafra
UDESC/Lages-SC

Dr. José Pereira da Silva Júnior
Embrapa-Trigo/ Passo Fundo-RS

**Lages, Santa Catarina
27 de Julho de 2007**

AGRADECIMENTOS

Eu louvo ao Senhor porque se há alguém responsável por todas as minhas conquistas, esse alguém é Ele. Agradeço por ter me feito ver “mais longe”.

A minha mãe sempre forte e batalhadora, não há o que dizer para compensar tudo o que ela faz por mim: Obrigada.

Ao meu irmão sempre tão divertido e inventivo: Obrigada por suavizar os momentos mais sérios e estressantes.

Ao meu esposo pela ajuda, companheirismo e amor: Obrigada por caminhar comigo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Osmar Klauberg Filho pelos cinco anos de orientação.

Agradeço aos bolsistas que auxiliaram neste trabalho: Aline Franciani Felipe, Davi Buratto, Andressa Calgotto e Taynara de Liz Oliveira.

Agradeço a todos os professores do Curso de Agronomia do CAV/UDESC pelo desprendimento em me atender quando precisei e disposição em ensinar.

Agradeço a Fátima porque nestes cinco anos sempre me ajudou no laboratório, assim como ajuda a todos.

Agradeço ao Fernando que sempre nos auxilia na parte burocrática.

Por último, mas não menos importante, agradeço à UDESC pela bolsa e pela oportunidade de estudo.

“Seja bendito o nome de Deus, de eternidade a eternidade, porque dEle é a sabedoria e o poder; é Ele quem muda o tempo e as estações, remove reis e estabelece reis; Ele dá sabedoria ao sábios e entendimento aos inteligentes. Ele revela o profundo e o escondido; conhece o que está em trevas, e com Ele mora a luz.”

Daniel 2:20-22

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi elucidar os efeitos da adoção de sistemas de produção orgânica e integrada de maçã na qualidade de um Latossolo Bruno distrófico típico do Sul do Brasil, com enfoque nos compartimentos do C, N e P microbiano e possíveis relações com a técnica de cobertura do solo. Os trabalhos foram realizados na Estação Experimental da Embrapa Centro Nacional de Fruticultura Temperada em Vacaria-RS. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso para comparação entre os tratamentos de cobertura do solo. As coberturas estudadas no pomar orgânico e no integrado foram: acícula, serragem, plástico preto, e testemunha infestada além do tratamento capina usado apenas no pomar orgânico. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-10 cm em fevereiro (verão) e agosto (inverno) de 2006. Os atributos microbiológicos analisados foram: carbono (Cmic), nitrogênio (Nmic) e fósforo (Pmic) da biomassa microbiana, respiração basal microbiana (C-CO₂) e comprimento de micélio extra-radicular de fungos micorrízicos arbusculares (Micélio). Os atributos químicos avaliados foram: carbono orgânico do solo (Corg), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral amônio e nitrato (NH₄⁺ e NO₃⁻), fósforo extraível (P), sódio extraível (Na), potássio extraível (K), alumínio trocável (Al) além de pH em água e em solução tamponada SMP. Os atributos físicos avaliados foram: umidade gravimétrica (Ug), temperatura do solo (Ts) e densidade do solo (Ds). Através dos resultados obtidos realizaram-se também as relações: Cmic/Corg, qCO₂, Nmic/Ntotal, Cmic/Pmic e C/Nmic. Em ambos os pomares a cobertura com plástico preto promoveu maior temperatura, menor umidade do solo, menores conteúdos de Cmic, Nmic, Corg, relação Cmic/Corg, Nmic/Ntotal, C/N microbiano e maiores conteúdos (válido só para o pomar orgânico) de Pmic, relação Cmic/Pmic e NH₄⁺ e NO₃⁻. Em ambos os pomares as coberturas com material orgânico (acícula e serragem) promoveram maior umidade e menor temperatura no solo e maiores conteúdos de Cmic, Nmic, Corg, relação Cmic/Corg, Nmic/Ntotal e C/N microbiano e menores conteúdos (válido só para o pomar orgânico) de Pmic, relação Cmic/Pmic, NH₄⁺ e NO₃⁻.

Palavras chave: *Mulching*, carbono orgânico, N microbiano, P microbiano.

ABSTRACT

The aim of this work was to elucidate the effect of the adoption of systems of production organic and integrated of apple in the quality of a Typic Hapludox of the South of Brazil, with emphasis on compartments of the microbial C, N and P and possible relations with the technique of soil *mulching* (covering). The works had been carried through in the Experimental Station of the Embrapa National Center of Fruticultura Temperada in Vacaria-RS. The experimental delineation adopted was random blocks to for comparison between the treatments of soil covering. The coverings studied in the orchards organic and the integrated one had been: pinus needle, wooden dust, black plastic, bare soil (only in the organic) and infested control. The soil samples had been collected in the depth of 0-10 cm in February (summer) and August (winter) of 2006 for biological analyses of carbon (Cmic), nitrogen (Nmic) and phosphorus (Pmic) of the microbial biomass, microbial breath (C-CO₂) and mycorrizal fungal hyphal length (Micélio). The chemical attributes evaluated were: soil organic carbon (Corg), nitrogen (Ntotal), mineral nitrogen ammonium and nitrate (NH₄⁺ and NO₃⁻), phosphorus (P), sodium (Na), potassium (K), exchangeable aluminum (Al) and water and SMP pH. The evaluated physical attributes were: soil moisture (Ug), soil temperature (Ts) and soil density (Ds). Through those results the relations had been also calculated: Cmic/Corg, qCO₂, Nmic/Ntotal, Cmic/Pmic and C/Nmic. In both the orchards *mulching* with black plastic promoted greater temperature, lower soil moisture, lower contents of Cmic, Nmic, Corg, Cmic/Corg relation, Nmic/Ntotal, microbial C/N and greater contents (valid only for the organic orchard) of Pmic, relation Cmic/Pmic and NH₄⁺ and NO₃⁻. In both the orchards *mulchings* with organic *mulchings* (pinus needle and wooden dust) had promoted greater soil moisture and lower soil temperature and bigger contents of Cmic, Nmic, Corg, Cmic/Corg relation, microbial Nmic/Ntotal and C/N and lower contents (valid only for the organic orchard) of Pmic, Cmic/Pmic relation, NH₄⁺ and NO₃⁻.

Key Words: *Mulching*, organic carbon, microbian N, microbian P.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Análise de variância pelos métodos geométricos lineares para carbono microbiano (Cmic), respiração microbiana do solo (C-CO ₂), quociente metabólico (qCO_2), comprimento de micélio extra radicular (Micélio), carbono orgânico do solo (Corg), estoque de carbono (ECorg), relação Cmic/Corg, nitrogênio microbiano (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral - amônio (NH ₄ ⁺), nitrogênio mineral - nitrato (NO ₃ ⁻), relação Nmic/Ntotal, fósforo microbiano (Pmic), fósforo extraível (P), relação C/P microbiana, relação C/N microbiana, relação C/N do solo, pH em água e SMP, sódio extraível (Na), potássio extraível (K), alumínio trocável (Al), umidade gravimétrica do solo (Ug), temperatura do solo (Ts) e densidade do solo (Ds) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria – RS..... | 28 |
| Tabela 2 - Carbono da biomassa microbiana (Cmic), respiração basal microbiana (C-CO ₂), quociente metabólico (qCO_2), carbono orgânico total (Corg) e relação Cmic/Corg no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria – RS..... | 30 |
| Tabela 3 - Nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), relação Nmic/Ntotal e nitrogênio mineral nitrato (NO ₃ ⁻) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria – RS..... | 32 |
| Tabela 4 - Carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), respiração basal microbiana (C-CO ₂), umidade gravimétrica (Ug), e relação C/N de acícula, serragem e serragem em estádio de decomposição utilizados para cobertura orgânica em pomares de maçã orgânico e integrado em Vacaria – RS..... | 33 |
| Tabela 5 - Fósforo da biomassa microbiana (Pmic), relação C/P microbiana (Cmic/Pmic), temperatura do solo (Ts) e umidade gravimétrica do solo (Ug) no verão | |

(fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria – RS..... 35

Tabela 6 - Análise de variância pelos métodos geométricos lineares para carbono microbiano (Cmic), respiração microbiana do solo (C-CO₂), quociente metabólico (qCO_2), comprimento de micélio extra radicular (Micélio), carbono orgânico do solo (Corg), estoque de carbono (ECorg), relação Cmic/Corg, nitrogênio microbiano (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral amônio (NH₄⁺), nitrogênio mineral nitrato (NO₃⁻), relação Nmic/Ntotal, fósforo microbiano (Pmic), fósforo extraível (P), relação C/P microbiana, relação C/N microbiana, relação C/N do solo, pH em água e SMP, sódio extraível (Na), potássio extraível (K), alumínio trocável (Al), umidade gravimétrica do solo (Ug), temperatura do solo (Ts) e densidade do solo (Ds) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria - RS..... 38

Tabela 7 - Carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente metabólico (qCO_2), relação Cmic/Corg (Cmic/Corg) e carbono orgânico do solo (Corg) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria – RS..... 39

Tabela 8 - Nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral amônio (NH₄⁺), nitrogênio mineral nitrato (NO₃⁻), relação C/N microbiana e relação Nmic/Ntotal no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria – RS..... 41

Tabela 9 - pH em água e SMP, temperatura do solo (Ts) e umidade gravimétrica do solo (Ug) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria – RS..... 42

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 HIPÓTESE..... | 13 |
| 1.2 OBJETIVOS..... | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 2.1 CULTIVO DA MAÇÃ NO BRASIL..... | 14 |
| 2.2 COBERTURA DO SOLO (<i>MULCHING</i>)..... | 16 |
| 2.3 QUALIDADE DO SOLO..... | 18 |
| 2.4 INDICADORES BIOLÓGICOS..... | 20 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 22 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 27 |
| 4.1 COBERTURAS DE SOLO (<i>MULCHING</i>) NO SISTEMA ORGÂNICO DE PRODUÇÃO DE MAÇÃS..... | 27 |
| 4.2 COBERTURAS DE SOLO (<i>MULCHING</i>) NO SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO DE MAÇÃS..... | 37 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 44 |
| REFERÊNCIAS..... | 45 |

| | |
|--------------------|-----------|
| ANEXOS..... | 56 |
|--------------------|-----------|

1 INTRODUÇÃO

A cultura da maçã possui grande representatividade no cenário da fruticultura nacional, principalmente no Sul do Brasil. Esta espécie frutífera é favorecida em regiões que apresentam clima mais ameno, uma vez que a macieira necessita de temperaturas baixas para acúmulo de horas de frio, encontrando principalmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul condições favoráveis para sua instalação e desenvolvimento.

A produção média brasileira de maçã gira em torno de 843.944 toneladas das quais 483.311 t são produzidas no estado de Santa Catarina e 326.027 t no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2005), o que corresponde a 99 % da produção total nacional.

Atualmente, esta frutífera é cultivada sob três principais sistemas de produção: convencional, integrado e orgânico. O sistema convencional de produção de maçãs consiste naquele em que são feitas adubações inorgânicas do solo ou foliar para suprir os nutrientes requeridos pelas plantas. O controle e a prevenção de pragas e doenças, bem como o controle de plantas espontâneas neste sistema, são realizados pelo uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas. No sistema integrado, o manejo de pragas, doenças e plantas espontâneas prejudiciais é realizado de forma que a utilização de agrotóxicos seja mínima e com classes toxicológicas mais brandas. Além disso, o sistema integrado associa adubação orgânica e adubação inorgânica no manejo da fertilidade do solo. Neste caso, todo o emprego de agrotóxico e adubação inorgânica é feito sob estrito controle de quantidade e número de aplicações. Já o sistema orgânico não permite a utilização de agrotóxicos e adubação inorgânica. Este sistema emprega manejo de prevenção e controle de pragas, doenças e

plantas espontâneas prejudiciais à cultura. Todas as entradas no sistema devem ser de origem orgânica.

Os sistemas orgânico e integrado, implantados no Brasil mais recentemente, são considerados sistemas alternativos de produção de maçãs cujo principal objetivo é produzir garantindo a qualidade ambiental, em particular a qualidade do solo, e a qualidade de vida dos produtores e consumidores. Quanto à qualidade do solo, os possíveis benefícios advindos da adoção destes sistemas ainda são pouco conhecidos e estudados. A análise de atributos biológicos relacionados à ciclagem do C, N e P é utilizada em diversas culturas no Brasil como indicador sensível de modificações na qualidade do solo.

Entre as práticas de manejo usadas nos sistemas orgânico e integrado de produção de maçã destaca-se o *mulching*. Esta técnica já é usada em diversas culturas, em várias partes do mundo, e consiste na cobertura do solo com resíduos vegetais ou com materiais sintéticos alternativos. Na região sul do Brasil constitui estratégia importante no controle de plantas espontâneas prejudiciais à cultura da maçã e na proteção do solo, sendo os principais materiais utilizados como *mulching* o plástico preto, a acícula de pírus e a serragem. Não existem dados sobre os possíveis efeitos da cobertura do solo com diferentes tipos de *mulching* sobre a dinâmica do carbono, nitrogênio e fósforo do solo nestas condições.

Neste sentido, este estudo buscou elucidar os efeitos da adoção de sistemas de produção orgânica e integrada de maçã na qualidade de um Latossolo Bruno distrófico típico do Sul do Brasil, com enfoque nos compartimentos de carbono, nitrogênio e fósforo microbianos e possíveis relações com a técnica de *mulching* do solo.

1.1 HIPÓTESE

O uso de cobertura do solo constitui prática que afeta a atividade microbiana do solo com consequências sobre os compartimentos do carbono, nitrogênio e fósforo no pomar orgânico e integrado de produção de maçã.

1.2 OBJETIVOS

1. Avaliar o efeito das coberturas de sobre os compartimentos do carbono, nitrogênio e fósforo microbianos no sistema de produção de maçã orgânica;
2. Avaliar o efeito das coberturas de solo sobre os compartimentos do carbono, nitrogênio e fósforo microbianos no sistema de produção de maçã integrada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTIVO DA MAÇÃ NO BRASIL

A macieira veio para o Brasil com os primeiros imigrantes europeus, porém, a princípio esta se limitou apenas aos pomares caseiros. Apesar de ficar sem grande valor econômico por muito tempo, no estado de São Paulo, na região de Valinhos, surgiram os primeiros pomares comerciais. No ano de 1962, a cultura atingiu o estado de Santa Catarina, vindo a instalar-se experimentalmente na cidade de Fraiburgo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ, 2003).

A partir do início da década de 1970 a cultura começou a se desenvolver comercialmente, contudo, apenas na década de 1990 o Brasil começou a aparecer nas estatísticas internacionais e somente no ano de 2001 alcançou a auto-suficiência no quesito produção. Até então, a fruta era importada principalmente da Argentina. Atualmente, o Brasil está entre os exportadores mundiais da maçã sendo que a produção está concentrada em quatro estados: São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. As cidades de maiores produções são Fraiburgo e São Joaquim no estado de Santa Catarina e Vacaria e Bom Jesus no estado do Rio Grande do Sul (TODA FRUTA, 2003).

No princípio do cultivo da maçã no Brasil, esta era conduzida no sistema convencional, entretanto, a recente preocupação social com o ambiente e consequentemente com a qualidade do solo, fez difundir novos sistemas de produção, como o integrado e o orgânico; ambos com objetivos conservacionistas. Nestes sistemas, ressalta-se um manejo alternativo daquele adotado tradicionalmente de intensas aplicações agrotóxicos e produtos

inorgânicos. Os sistemas orgânico e integrado de produção de maçãs oferecem práticas alternativas que atendem interesses ambientais (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989; CONACHER & CONACHER, 1998).

O sistema de produção orgânica de maçã no Brasil surge na década de 1980 pela necessidade de atender a consumidores preocupados com a saúde e o ambiente. Desta forma, a agricultura orgânica garante uma produção sem a utilização de agrotóxicos, com restrição no uso de adubação inorgânica, preservando assim os recursos naturais com maior vínculo na agricultura familiar.

No início, a comercialização dos produtos orgânicos se reduzia a algumas poucas feiras e a venda de cestas diretamente aos consumidores. A partir deste ponto, os produtos orgânicos alcançaram os estandes de supermercado, ganhando, cada vez mais seu espaço além da expansão na quantidade, diversidade e qualidade do produto (KHATOUNIAN, 2001), entrando entre os maiores países exportadores de maçã orgânica (DAROLT, 2002).

Nos últimos anos surgiram 19 certificadoras de produtos orgânicos que acompanham este sistema de produção no Brasil. Algumas destas certificadoras já possuem o reconhecimento para comércio internacional, o que diferencia e identifica a produção de maçãs orgânicas para a exportação (AGRICULTURA ORGÂNICA, 2006).

O sistema de produção integrada surgiu juntamente com o Manejo Integrado de Pragas (MIP), que tinha como objetivo a redução dos agrotóxicos através de manejo biológico e controle cultural. Este novo sistema de produção surge na metade da década de 1990 e se baseia na seguinte definição: “(...) a produção integrada é um sistema de exploração agrícola que produz alimentos e outros produtos de alta qualidade mediante o uso dos recursos naturais e de mecanismos reguladores para minimizar o uso de insumos e contaminantes para assegurar uma produção sustentável. (...)” (TITI et al., 1995).

Os princípios do sistema integrado são: produzir com qualidade, levando em consideração a certificação desta; reduzir os impactos ambientais indesejáveis advindos da atividade agrícola; reforçar a biodiversidade para diminuir perdas através da ciclagem de nutrientes; promover o conhecimento e motivação ecológica nos produtores. No entanto, para regulamentar o selo da produção integrada, com vistas a assegurar que os princípios sejam obedecidos, existem normas oficiais para diferenciar esta dos demais tipos de produção de maçã. A ISO 14001 regulamenta a utilização de agrotóxicos e insumos na exploração com o objetivo de certificar com a marca da produção integrada, havendo também a possibilidade da utilização da norma ISO 9001 para o acompanhamento da produção e pós-colheita (EMBRAPA, 2004).

Embora alguns estudos tenham encontrado que os sistemas alternativos de produção de maçã possam melhorar a qualidade do solo em comparação ao sistema convencional, ainda não existem estudos conclusivos a esse respeito, havendo a necessidade de pesquisas que esclareçam mais sobre estes sistemas alternativos.

2.2 COBERTURA DO SOLO (*MULCHING*)

Dentre as práticas mais utilizadas nos sistemas agrícolas, a remoção de plantas espontâneas daninhas à cultura constitui uma das maiores práticas de manejo do solo pelo seu caráter ambiental e contribuinte a produtividade (BUHLER et al., 2000; LI et al., 2004). No sistema convencional de produção de maçã, a aplicação de herbicidas assume considerável importância no manejo de plantas prejudiciais, principalmente nos primeiros anos do pomar. A competição por espaço e nutrientes entre a cultura e as plantas espontâneas se reflete em prejuízos na produção e na capacidade de sustentação das árvores quando não se adotam práticas que eliminem esse potencial competitivo.

Apesar da vantagem do controle, o sistema orgânico impede o uso de agrotóxicos e o sistema integrado conduz a um manejo alternativo com redução no uso dos herbicidas, havendo a necessidade de um manejo dentro destes sistemas que elimine a competição de plantas espontâneas sem o uso de produtos agrotóxicos. Isso porque o uso destes agrotóxicos, principalmente os residuais com longa persistência no solo, demonstraram ser causadores de sérios danos ambientais (BUSER, 1990; LIPECKI, & BERBEC, 1997). Alguns estudos vêm mostrando também, que a microbiota pode ser afetada de modo negativo pelo uso de herbicidas (EDWARDS, 1989; WARDLE, 1994; HESS, 1995; WARREN & HESS, 1995; PERSCHBACHER et al., 1997; SOUZA et al., 1999; SEGHERS et al., 2003; PROCÓPIO et al., 2004; SANTOS, 2004; KINNEY et al., 2005; TUFFI SANTOS et al., 2005; SANTOS et al., 2005). Além disso, o fato do uso contínuo dos herbicidas gera a adaptação das comunidades de plantas daninhas a cultura, diminuindo a diversidade da espécie e causando neste contexto, a resistência destas (SCHUTTE, 2002).

O *mulching* surge como alternativa ao controle de plantas espontâneas prejudiciais a cultura da maçã. Denomina-se de *mulching* todo e qualquer tipo de material, vegetal ou não, que se destine a cobertura do solo (ROSENBERG, 1974). Através da utilização deste tipo de manejo de cobertura do solo, busca-se a prevenção da germinação das plantas espontâneas prejudiciais à cultura e a proteção do solo. Esta técnica é utilizada em diversas culturas no Brasil e no mundo (HAN & WAN, 1995; LUO, 1992; ZHANG & MA, 1994; OLIVEIRA & SOUZA, 2003; LI et al., 2004;), porém na cultura na maçã não há registro de estudos.

Alguns autores relacionam o uso *mulching* com o incremento no rendimento da cultura (GUO & GU, 2000; LIANG et al., 1999; LIU, 2000; WANG et al., 1998), principalmente devido aos efeitos supressivos da plantas espontâneas prejudiciais, alteração da temperatura, umidade, e proteção do solo (LI et al., 1999; LI et al., 2004). Contudo, a magnitude destes efeitos pode variar dependendo do tipo de *mulching* utilizado.

Atualmente dispõe-se de diversos tipos de materiais que podem ser utilizados como *mulching*, de acordo com a disponibilidade local. No sul do Brasil, pela intensa representatividade do setor madeireiro, juntamente com grandes áreas de reflorestamento, dispõe-se facilmente da acícula do pírus e da serragem que estão entre os materiais que podem ser utilizado para a cobertura do solo. Além destas coberturas vegetais, ainda pode-se lançar mão das não vegetais, sendo o plástico preto o mais conhecido e utilizado. Entretanto, os efeitos destes novos sistemas de produção de maçã aliados com estes manejos de cobertura do solo no sul do Brasil ainda não estão muito claros de forma que ainda não se sabe os possíveis efeitos do *mulching* na qualidade do solo aplicados a esta região.

2.3 QUALIDADE DO SOLO

A avaliação da qualidade do solo compõe-se de alta complexidade requerendo a consideração de variáveis químicas, físicas e biológicas (QUILCHANO, 1995; MARTIN & JOHNSON, 1995; DORAN & SAFLEY, 1997; WANDER & BOLLERO, 1999; FRANZLUEBBERS et al, 1999; VAN BRUGGEN & SEMENOV, 2000; ASHTON & MACINTOSH, 2002; DOMINY & HAYNES, 2002; SICARDI et al., 2002; SPACCINI et al, 2002; CHEN et al., 2003; LIEBIG et al., 2004). No sul do Brasil, a cultura da maçã foi instalada em solos altamente intemperizados e ácidos, que possuem grande dependência física, química e biológica da matéria orgânica. Desta forma, qualquer sistema de manejo que venha a afetar a quantidade ou qualidade da matéria orgânica, interfere, por sua vez, na qualidade do solo (SANCHEZ, 1976; WAMBEKE, 1992; BAYER, 2004;).

Estudos mostram que sistemas agrícolas implantados em substituição ao sistema nativo reduzem o aporte de carbono orgânico do solo (XAVIER, et al., 2006; MARCHIORI JUNIOR & MELO, 2000; LEITE, et al., 2003). Isto porque os sistemas nativos estão em equilíbrio, o carbono e os nutrientes são reciclados principalmente por meio da ação

microbiana e suas interações e as entradas de carbono nos sistemas agrícolas são geralmente mais baixas do que nos sistemas nativos (LEMENIH et al., 2005). Assim, as quantidades e a diversidade dos compostos de carbono usados pelos microorganismos como fontes de energia são reduzidos, afetando os ciclos biogeoquímicos do solo (BADIANE et al., 2001). Neste sentido, a matéria orgânica possui um papel fundamental para o alcance da sustentabilidade de um sistema. Por possuir um grande número de sítios de ligações, a matéria orgânica mantém os nutrientes do solo. Além disso, somam-se a estes outros nutrientes advindos de sua decomposição que são prontamente liberados para a solução do solo, ficando assim disponíveis as plantas e microrganismos.

Outra consequência deste processo é a liberação de ácidos orgânicos da matéria orgânica do solo que servem como condicionantes físicos do solo além de grande ativador dos processos microbianos, visto que esta contém energia e nutrientes suficientes para mover a atividade dos microrganismos. Sendo a parte viva do solo, qualquer alteração na fração orgânica, reflete em resposta imediata dos microrganismos tanto em quantidade quanto em variabilidade de espécies e capacidade de trabalho. Ou seja, qualquer sistema de manejo que altere o conteúdo ou a qualidade da matéria orgânica resultará numa resposta mais imediata dos atributos microbiológicos do solo, uma vez que o conteúdo de matéria orgânica do solo é altamente correlacionado com o carbono da biomassa microbiana (PANKHURST et al., 1995; CHAPMAN et al., 2003).

Nestes sistemas alternativos, principalmente o orgânico, a função do solo está baseada na decomposição da matéria orgânica (MONOKROUSOS et al., 2006), fazendo com que a produção da planta dependa quase que exclusivamente das transformações dos nutrientes no solo. As transformações destes, por sua vez, são controladas primeiramente por microrganismos. Portanto, um solo ativo biologicamente, constitui num reservatório considerável de nutrientes acessíveis tornando-se muito importante para a qualidade dos

sistemas alternativos (MONOKROUSOS et al., 2006). Consequentemente, a avaliação deste reservatório biológico constitui o ponto essencial para o monitoramento da qualidade do solo em tais sistemas.

2.4 INDICADORES BIOLÓGICOS

Sistemas agrícolas alternativos, que evidenciam maior entrada de matéria orgânica, exibem uma melhor qualidade do solo devido a maior atividade biológica (DRINKWATER et al., 1995; DROOGERS & BOUMA, 1996). Mudanças quantitativas e qualitativas na população e na atividade dos microrganismos do solo refletem em mudanças na qualidade do solo, sendo úteis indicadores nos efeitos do manejo do solo (FRANCHINI et al., 2006).

É de conhecimento comum que a matéria orgânica é modificada pelos microrganismos do solo, sendo que estes se ressentem quando há alteração na quantidade ou qualidade desta. A ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia no solo são de especial relevância sendo que os microrganismos também possuem a dupla função de fonte/dreno e catalizador enzimático no solo (DUXBURY et al., 1989; TEMPLER, 2003; CARDOSO, 2004). No momento da decomposição, os microrganismos liberam nutrientes para a solução do solo, estes nutrientes em solução podem ser absorvidos pelas plantas ou incorporados ao tecido microbiano, nesta situação de imobilização de nutrientes a microbiota assume o papel de dreno. Na ocasião de morte microbiana, estes liberam de seus tecidos novamente os nutrientes que uma vez foi retirado, servindo desta vez de fonte de fornecimento para a solução do solo e consequentemente ficando à disposição das plantas. Assim na dinâmica do ciclo de vida microbiano, estes assumem o papel ora de dreno e ora de fonte, liberando gradativamente os nutrientes às plantas formando deste modo um reservatório de proteção contra a lixiviação de nutrientes do solo.

Neste sentido, as propriedades microbianas podem indicar um manejo apropriado e práticas adequadas de restauração para o alcance da sustentabilidade do sistema, além das propriedades químicas e físicas do solo (NOGUEIRA et al., 2006). Por ser um atributo sensível às condições de manejo, os atributos microbiológicos têm sido estudados como indicadores bastante perceptíveis da qualidade do solo sob diversos sistemas de manejos (MARX et al., 2001; JIMÉNEZ et al., 2002) e aplicados a várias culturas agrícolas e florestais.

Os indicadores biológicos provêm informações sobre a estabilidade e processo auto-regulatório dos sistemas. A percepção das transformações lentas e de baixa proporção na matéria orgânica é difícil de ser controlada, porém antes de se detectar uma mudança na matéria orgânica, percebem-se claras alterações nos atributos biológicos (SPARLING, 1992; SANTOS et al., 2005). Portanto, por meio da biomassa microbiana é possível avaliar as mudanças iniciais no conteúdo de matéria orgânica no solo, pois esta constitui o estágio inicial da decomposição da matéria orgânica e labilidade do carbono (WARDLE & PARKINSON, 1991; KINNEY et al., 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em Vacaria-RS, situada a 28°33'00" de latitude sul e 50°47'00" de longitude oeste, com altitude média de 954,5 m (INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS, 1989) e clima cfb, subtropical úmido com verões brandos, segundo a classificação de Köppen.

Foram utilizadas duas áreas experimentais localizadas na estação experimental da EMBRAPA – Centro Nacional de Fruticultura Temperada, sendo:

a) um pomar conduzido no sistema orgânico de produção de maçãs com os seguintes tratamentos de cobertura do solo: testemunha infestada, cobertura com acícula de pírus (10 cm de espessura), cobertura com serragem (10 cm de espessura), plástico preto (polietileno) e capina manual a cada 30 dias deixando o solo totalmente descoberto. Estes tratamentos foram distribuídos no pomar abrangendo sempre cinco plantas e na faixa de um metro de largura na linha de plantio. Os tratamentos seguiram o delineamento de blocos completamente casualizados, com três repetições.

b) um pomar conduzido no sistema integrado de produção de maçãs com os seguintes tratamentos de cobertura do solo: testemunha infestada, cobertura com acícula de pírus (10 cm de espessura), cobertura com serragem (10 cm de espessura) e plástico preto (polietileno). Estes tratamentos foram distribuídos no pomar abrangendo sempre cinco plantas e na faixa de 1 metro de largura na linha de plantio. Os tratamentos seguiram o delineamento de blocos completamente casualizados, com 3 repetições.

O pomar orgânico foi plantado no ano de 2003 numa área que anteriormente era campo nativo. O pomar integrado foi plantado no ano de 1997 numa área que anteriormente

era um pomar de maçãs da cultivar Fuji. Ambos pomares são da cultivar Galaxy, sendo que possuem condução por líder central e espaçamento de 1,4 x 5,0 m. Os tratamentos de cobertura do solo foram instalados em setembro de 2003, sendo as coberturas orgânicas repostas após um ano. O pomar orgânico foi adubado com esterco de galinha em agosto de 2005 e o pomar integrado com uréia em novembro de 2005. Os tratamentos fitossanitários utilizados nestes pomares estão descritos nos anexos A e B. As duas áreas experimentais estão sobre um Latossolo Bruno distrófico típico de formação de rochas basálticas do Grupo São Bento. O local possui relevo regional suave ondulado e ondulado com as seguintes características naturais: argila = 67%; silte = 27%; areia = 6%; pH (água) = 4,5; fósforo assimilável = 3,0 mg kg⁻¹; carbono orgânico = 24 g kg⁻¹; nitrogênio = 2,1 g kg⁻¹; alumínio trocável = 2,0 cmol_c kg⁻¹ (REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTOS DE SOLOS, 2000).

Realizou-se duas coletas de amostras de solo, uma no mês de fevereiro de 2006 (verão) e outra no mês de agosto de 2006 (inverno) em cada área. Foram retiradas amostras compostas de solo, de 0-10 cm de profundidade e na linha de plantio, para as análises biológicas e químicas. As amostras de solo foram retiradas com trado, transportadas em caixa térmica e mantidas em refrigeração até o dia das análises quando foram passadas em peneira de 2,0 mm.

As análises biológicas realizadas foram as seguintes: carbono da biomassa microbiana (Cmic), nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), fósforo da biomassa microbiana (Pmic) e respiração basal microbiana (C-CO₂). As análises químicas foram: carbono orgânico total (Corg), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral nitrato e amônia (NH₄⁺ e NO₃⁻), alumínio trocável (Al) e fósforo (P), sódio (Na) e potássio (K) extraíveis. Foram realizadas ainda análises físicas de: umidade do solo (Ug), temperatura do solo (Ts) e densidade do solo (Ds). Através dos resultados obtidos de Cmic, C-CO₂, Corg, Ntotal, Pmic e Ds calculou-se:

Cmic/Corg, $q\text{CO}_2$, ECorg, Nmic/Ntotal, Cmic/Pmic, C/Nmic e C/Nsolo. Retiraram-se ainda, amostras de acícula e serragem das coberturas para análise de carbono, nitrogênio, fósforo, respiração basal microbiana e relação C/N.

Na determinação da quantidade de carbono da biomassa microbiana (Cmic), foi utilizada a metodologia descrita por Vance et al. (1987) para fumigação seguida de extração e a metodologia descrita por Walkley e Black (1934) para oxidação das amostras. A fumigação foi feita pela incubação à vácuo em dessecador contendo clorofórmio, por 24 h, na temperatura de 25 °C. A extração foi realizada com sulfato de potássio. O carbono (C) das amostras foi determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacial. A quantidade de carbono da biomassa microbiana foi obtida pela diferença de carbono entre as amostras fumigadas e não fumigadas multiplicadas pelo fator de correção (K_c) 0,4.

Para a análise do nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), utilizou-se do método de fumigação e extração descrito por Vance et al. (1987) já mencionado acima e pelo método de Kjeldahl (De-Polli e Guerra, 1999, adaptada de Brookes et al., 1982) de separação. O Nmic foi calculado pela diferença de N das amostras fumigadas e não fumigadas.

Na análise de fósforo microbiano foi utilizado o método de Brookes et al. (1982) onde o teor de fósforo determinado pela diferença entre a amostra a ser analisada e uma com a quantidade de fósforo (P) conhecida. Assim, 2,5g de solo foram pesados em 10 repetições, sendo 3 fumigadas, 3 não fumigadas, 3 não fumigadas na qual foram adicionadas uma solução de monofosfato de potássio (KH_2PO_4) com 25 µg de fósforo (solução “Spike”) e uma submetida ao teste de umidade. A quantidade de fósforo foi determinada em espectrofotômetro UV-VIS. Calculou-se o teor de fósforo da biomassa microbiana pela diferença entre as amostras fumigadas e não fumigadas levando-se ainda em consideração a quantidade conhecida adicionada de fósforo na amostra.

Na respiração microbiana, procedeu-se anteriormente a determinação do teor de

umidade para correção do peso de solo adicionado por peso em água destilada até esta alcançar 60%. Após a correção da umidade procedeu-se a metodologia descrita por Jäggi (1976). Nesta metodologia, 20 g de solo são incubadas num frasco hermeticamente fechado contendo “frasco armadilha” com hidróxido de sódio e mantido a 25 °C por 48 horas. O hidróxido de sódio capturou o C-CO₂ produzido e após o período de incubação, interrompeu-se este processo de captura pela adição de cloreto de bário. Determinou-se a quantidade de C-CO₂ emitido pela titulação com ácido clorídrico.

O comprimento de micélio extra-radicular foi determinado conforme metodologia descrita por Melloni (1996). As hifas fúngicas foram extraídas do solo usando-se membranas nitrocelulíticas quadriculadas com diâmetro de 45 mm. Utilizando-se microscópio de fluorescência, foram avaliados 64 campos (8 x 8) em cada membrana, determinando-se o número de interseções de hifas com as linhas horizontais de uma grade na ocular do microscópio.

Analisou-se a quantidade de carbono orgânico total pelo método descrito em Tedesco et al. (1995). Foi também colocada uma amostra padrão com concentração conhecida junto das demais amostras com o objetivo de detectar possíveis erros de procedimento. A amostra padrão representou 92% do resultado conhecido. O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl descrito por Tedesco et al. (1995). Neste caso a amostra padrão apresentou uma recuperação de 85% do nitrogênio total da solução inicial. O nitrogênio mineral foi extraído (diluição 1:10) com cloreto de potássio e destilado com óxido de magnésio calcinado para determinação de amônio e liga devarda para determinação de nitrato também descrito por Tedesco et al. (1995). A amostra padrão para N mineral apresentou uma recuperação de 96% do nitrogênio amônio e 84% do nitrogênio nitrato da solução inicial.

O fósforo do solo foi determinado pela extração (diluição 1:10) com Mehlich 1 e leitura em espectofotômetro UV-VIS no comprimento de onda de 660 nm conforme descrito

por Tedesco et al. (1995). A amostra padrão para P representou 83% do resultado conhecido.

Na determinação de alumínio trocável, as amostras de solo foram submetidas à extração (diluição 1:20) com cloreto de potássio e tituladas com hidróxido de sódio segundo Tedesco et al. (1995). A amostra padrão para Al representou 71% do resultado conhecido. Para sódio e potássio as amostras foram extraídas (diluição 1:10) com Mehlich 1 e as amostras foram lidas em fotômetro de emissão atômica conforme descrito por Tedesco et al. (1995). A amostra padrão representou 86% do resultado conhecido.

A umidade do solo a campo foi estimada pesando-se 20 g de cada amostra e deixando-as até a massa estabilizar em estufa de circulação de ar (50 °C). A temperatura do solo foi medida a campo com geotermômetro e a densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico.

O estudo do efeito das coberturas de solo (*mulching*) foi realizado separadamente no sistema orgânico e no integrado. Após os cálculos, os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, análise de variância pelos métodos geométricos lineares (procedimento GLM) e comparação de médias pelo teste de Bonferroni a uma probabilidade de 5% .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COBERTURAS DE SOLO (*MULCHING*) NO SISTEMA ORGÂNICO DE PRODUÇÃO DE MAÇÃS

O resumo da análise de variância demonstrou a sensibilidade dos atributos microbiológicos em apontar diferenças entre as fontes de variação: tratamentos de cobertura do solo, época de amostragem e interação entre estes. Sobretudo, os atributos carbono (Cmic), nitrogênio (Nmic) e fósforo da biomassa microbiana (Pmic), foram os principais a mostrar distinção entre as coberturas. Estes atributos apresentaram diferenças significativas entre *mulchings*, época e interação entre os mesmos. Por outro lado, os demais atributos apresentaram diferenças somente entre tratamentos ou época e/ou interação entre tratamento e época. Já o comprimento de micélio extra-radicular, sódio, potássio, densidade, o pH do solo e o fósforo não apresentaram diferenças significativas pelo teste da variância (Tabela 1). Os *mulchings* não diferiram significativamente em relação à densidade do solo o que foi também observado por Pelizza (2007) na mesma área experimental e por Li et al. (2007) em diferentes classes de solo na China.

Verificou-se na dinâmica do carbono que o Cmic foi menor no *mulching* plástico preto, ficando em 120 e 142 $\mu\text{g g}^{-1}$ no verão e no inverno respectivamente (Tabela 2). Isso corresponde dizer que o *mulching* plástico preto foi 56% menor no verão e 63% menor no inverno comparado aos demais *mulchings*. Por afetar a temperatura e a umidade do solo, o uso do *mulching* pode mudar suas características biológicas, alterando desta maneira a qualidade do solo (Li et al., 2004). A película protetora do polietileno desfavorece novas

entradas de matéria orgânica fresca, diminuindo com isso a população microbiana, pois esta vai mineralizar rapidamente a matéria orgânica existente naquele local. Já as coberturas orgânicas de acícula e de serragem, além de apresentarem valores contrários, ou seja, maior Cmic, que foram de 248 e 326 $\mu\text{g g}^{-1}$, revelaram incremento do carbono microbiano no inverno de 37 e 21% respectivamente. Comportamento similar foi encontrado por Maluchebareta et al. (2007) ao detectar maior Cmic no inverno em pomares de maçã, onde o incremento sazonal deste atributo foi de 11%, e por Souza (2005) em áreas de reflorestamento, onde o incremento foi de 24%.

Tabela 1 - Análise de variância pelos métodos geométricos lineares para carbono microbiano (Cmic), respiração microbiana (C-CO₂), quociente metabólico (*qCO₂*), comprimento de micélio extra radicular (Micélio), carbono orgânico (Corg), estoque de carbono (ECorg), relação Cmic/Corg, nitrogênio microbiano (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral - amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻), relação Nmic/Ntotal, fósforo microbiano (Pmic), fósforo extraível (P), relação C/P microbiana, relação C/N microbiana, relação C/N do solo, pH em água e SMP, sódio (Na), potássio (K), alumínio (Al), umidade gravimétrica (Ug), temperatura (Ts) e densidade do solo (Ds) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria - RS.

| Atributo | Fontes de Variação | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| | Tratamento | Época | Bloco | Trat*Ép | Q M E |
| Cmic | * | * | ns | * | 1011,67 |
| C-CO₂ | ns | ns | ns | * | 0,10 |
| qCO₂ | * | ns | ns | * | 0,88 |
| Micélio | ns | ns | ns | ns | 0,06 |
| Corg | * | ns | ns | ns | 3,55 |
| ECorg | ns | ns | ns | ns | 0,05 |
| Cmic/Corg | * | ns | ns | * | 0,03 |
| Nmic | * | * | ns | * | 28,38 |
| Ntotal | * | ns | ns | ns | 24,88 |
| NH₄⁺ | ns | * | ns | * | 1,08 |
| NO₃⁻ | * | * | ns | * | 1,63 |
| Nmic/Ntotal | * | ns | ns | ns | 0,04 |
| Pmic | * | * | ns | * | 1,24 |
| P | ns | ns | ns | ns | 55,28 |
| C/Pmic | * | ns | ns | * | 262,36 |
| C/Nmic | * | * | ns | ns | 0,25 |
| C/Nsolo | ns | * | ns | ns | 0,81 |
| pH-água | ns | ns | ns | ns | 0,14 |
| pH-SMP | ns | * | ns | ns | 0,07 |
| Na | ns | ns | ns | ns | 7,13 |
| K | ns | ns | ns | ns | 191,48 |
| Ug | * | * | ns | ns | 6,81 |
| Ts | * | * | ns | * | 0,41 |
| Ds | ns | ns | ns | ns | 0,01 |

* teste de F significativo a 5%; ns – não significativo; QME – quadrado médio do erro

O tratamento com capina e a testemunha infestada, apresentaram comportamento diferenciado em relação ao Cmic. No verão, a capina não diferiu das coberturas orgânicas onde o valor deste atributo foi de $274 \mu\text{g g}^{-1}$. Entretanto, no inverno, a capina apresentou conteúdo de Cmic igual ao plástico preto, que foi de $229 \mu\text{g g}^{-1}$. Esse comportamento pode ser explicado pela exposição do solo refletindo na superfície as diferenças entre inverno e verão. A testemunha infestada apresentou Cmic igual ao das coberturas orgânicas no inverno, onde este atributo variou em média de $342 \mu\text{g g}^{-1}$ (Tabela 2).

O $q\text{CO}_2$ do solo sob o plástico preto apresentou-se maior ($5,92 \mu\text{gC-CO}_2/\mu\text{gCmic g}^{-1}$ solo. h^{-1}) que o dos *mulchings* orgânicos no verão, na acícula ($0,98 \mu\text{gC-CO}_2/\mu\text{gCmic g}^{-1}$ solo. h^{-1}) e na serragem ($1,39 \mu\text{gC-CO}_2/\mu\text{gCmic g}^{-1}$ solo. h^{-1}). Isto demonstra que o plástico preto proporciona um ambiente estressante de alta instabilidade para os microrganismos. No inverno, no entanto, a capina diferiu dos *mulchings* orgânicos, onde os valores do quociente metabólico giraram em torno de $3,05$, $1,67$ e $0,95 \mu\text{gC-CO}_2/\mu\text{gCmic g}^{-1}$ solo. h^{-1} para a capina, acícula e serragem respectivamente (Tabela 2). O maior valor deste atributo encontrado na capina se deve ao estresse decorrente da falta de cobertura do solo.

Para o Corg, o plástico preto apresentou cerca de $3,59 \text{ g C kg}^{-1}$ a menos que as médias dos *mulchings* orgânicos, ou seja 13% a menos (Tabela 2). A falta de entradas de matéria orgânica na área de cobertura do plástico, e contínuo trabalho de decomposição, mineralização e utilização dos nutrientes e energia pelos microrganismos, resulta em redução da quantidade de Corg. Reduções de cerca de 57% no Corg foram encontradas por Li et al. (2004) em estudos com *mulching* plástico no semi-árido em sucessão de milho e trigo.

Tabela 2 - Carbono da biomassa microbiana (Cmic), respiração basal microbiana (C-CO₂), quociente metabólico (*qCO₂*), carbono orgânico total (Corg) e relação Cmic/Corg no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria - RS.

| Tratamentos | Cmic ($\mu\text{g g}^{-1}$) | | | C-CO ₂ (mg CO ₂ /100g.h ⁻¹) | | |
|--------------|---|---------------|---------------|--|--------------|-----------------|
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 248,16 abB | 392,42 aA | 320,29 | 0,57 aB | 1,57 abA | 1,07 |
| Serragem | 325,86 aB | 415,10 aA | 370,48 | 1,07 aA | 0,95 abA | 1,02 |
| Plástico | 119,92 cA | 142,09 bA | 131,00 | 1,60 aA | 0,82 bA | 1,21 |
| Capina | 274,06 abA | 229,07 bA | 251,56 | 1,24 aA | 1,67 aA | 1,46 |
| Infestado | 237,74 bA | 342,41 aA | 290,08 | 1,19 aA | 1,57 abA | 1,38 |
| Média | 241,15 | 304,22 | 272,69 | 1,14 | 1,34 | 1,24 |
| CV (%) | 11,66 | | | 25,16 | | |
| Tratamentos | <i>qCO₂</i> ($\mu\text{g C-CO}_2/\mu\text{g Cmic g}^{-1}$ solo.h ⁻¹) | | | Corg (g kg^{-1}) | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 0,98 b | 1,67 bc | 1,33 | 27,24 | 29,64 | 28,44 a |
| Serragem | 1,39 b | 0,95 c | 1,12 | 27,58 | 29,45 | 28,52 a |
| Plástico | 5,92 a | 2,41 ab | 4,17 | 21,33 | 28,44 | 24,89 b |
| Capina | 1,85 ab | 3,05 a | 2,45 | 21,62 | 28,82 | 25,22 ab |
| Infestado | 2,08 ab | 1,96 abc | 2,02 | 22,69 | 29,47 | 26,08 ab |
| Média | 2,45 | 2,09 | 2,27 | 24,09 | 29,16 | 26,63 |
| CV (%) | 41,35 | | | 7,07 | | |
| Tratamentos | Cmic/Corg (%) | | | | | |
| | Época | | Média | | | |
| | Verão | Inverno | | | | |
| Acícula | 1,09 ab | 1,17 a | | 1,13 | | |
| Serragem | 1,33 a | 1,29 a | | 1,31 | | |
| Plástico | 0,57 b | 0,50 b | | 0,53 | | |
| Capina | 1,28 a | 0,80 b | | 1,04 | | |
| Infestado | 1,05 ab | 1,16 a | | 1,11 | | |
| Média | 1,06 | 0,98 | | 1,02 | | |
| CV (%) | 15,87 | | | | | |

Letras iguais maiúsculas na linha (época) e minúsculas na coluna (tratamento) não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Bonferroni.

A relação Cmic/Corg foi menor no *mulching* plástico preto (0,57%) quando comparado à serragem (1,33%) e capina (1,28%) no verão. No inverno, o plástico preto e a capina obtiveram menor relação Cmic/Corg, com 0,50 e 0,80% respectivamente, em comparação as coberturas orgânicas e testemunha infestada, que foram de 1,17, 1,29 e 1,26% (Tabela 2). O que é explicado pela menor capacidade da população microbiana observada no solo sob *mulching* plástico em utilizar o carbono da matéria orgânica na formação de tecido

microbiano.

O nitrogênio microbiano (Nmic) foi maior no solo sob *mulching* com acícula e menor no plástico preto nas duas épocas amostrais (Tabela 3). Na acícula este atributo foi de 111 e 88 $\mu\text{g g}^{-1}$ no verão e inverno, e no plástico preto de 53 e 38 $\mu\text{g g}^{-1}$ respectivamente. Igualmente ao que ocorreu para o Cmic, a temperatura, a umidade e a falta de entradas de matéria orgânica fresca afetaram negativamente os teores de Nmic no solo sob *mulching* plástico preto. A acícula, por apresentar maior conteúdo de nitrogênio ($1,44 \text{ g kg}^{-1}$) em sua composição, que corresponde ao dobro da concentração deste elemento na serragem ($0,63 \text{ g kg}^{-1}$), proporcionou maior Nmic no solo sob *mulching* de acícula (Tabela 4). Isto faz com que os microrganismos imobilizem maiores conteúdos deste elemento em seu tecido. Tu et al. (2006) ao estudarem coberturas orgânicas, também verificaram maior Nmic neste tipo de cobertura, cerca de 45% a mais em relação ao tratamento sem cobertura, detectando ainda diferenças entre teores de Nmic de acordo com a composição do *mulching* orgânico em questão. Foi verificada ainda diminuição no teor de Nmic no inverno nos tratamentos acícula, plástico preto e capina.

Não houve diferença no nitrogênio total entre tratamentos. A relação Nmic/Ntotal foi menor no plástico preto, 0,47%, quando comparado à acícula e ao infestado, 0,86 e 0,94% respectivamente (Tabela 3). O que significa que no solo sob *mulching* plástico preto houve menor percentagem de nitrogênio imobilizado na biomassa compondo o nitrogênio orgânico total. Resultado que também sofre a influência da variação na temperatura e umidade causada pelo *mulching* plástico preto.

Tabela 3 - Nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), relação Nmic/Ntotal e nitrogênio mineral nitrato (NO_3^-) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria - RS.

| Tratamentos | Nmic ($\mu\text{g g}^{-1}$) | | | Ntotal (g kg^{-1}) | | |
|--------------|--|---------------|----------------|--|---------------|----------------|
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 110,63 aA | 87,82 aB | 99,23 | 13,06 | 11,16 | 12,11 a |
| Serragem | 76,23 bA | 77,78 bA | 77,0 | 19,43 | 15,30 | 17,36 a |
| Plástico | 53,10 cA | 37,76 dB | 45,43 | 11,97 | 7,92 | 9,95 a |
| Capina | 76,52 bA | 51,77 cB | 65,65 | 9,94 | 7,08 | 8,51 a |
| Infestado | 88,72 abA | 76,60 bA | 82,66 | 9,03 | 8,71 | 8,87 a |
| Média | 81,64 | 66,35 | 73,99 | 12,69 | 10,03 | 11,36 |
| CV (%) | 7,2 | | 43,91 | | | |
| Tratamentos | NH_4^+ (mg kg^{-1}) | | | NO_3^- (mg kg^{-1}) | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 4,87 aA | 2,05 abA | 3,46 | 5,82 | 2,03 | 3,92 ab |
| Serragem | 5,57 aA | 1,65 bA | 3,61 | 5,47 | 1,66 | 3,56 ab |
| Plástico | 3,77 aA | 3,38 aA | 3,58 | 7,89 | 3,48 | 5,69 a |
| Capina | 3,03 aA | 1,45 bA | 2,24 | 4,0 | 1,17 | 2,59 b |
| Infestado | 3,30 aA | 2,94 abA | 3,12 | 2,89 | 2,77 | 2,83 b |
| Média | 4,11 | 2,29 | 32,48 | 5,21 A | 2,22 B | 3,72 |
| CV (%) | 32,48 | | 34,35 | | | |
| Tratamentos | C/Nmic (%) | | | Nmic/Ntotal (%) | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 2,24 | 4,49 | 3,67 bc | 0,91 | 0,81 | 0,86 a |
| Serragem | 4,28 | 5,34 | 4,81 a | 0,49 | 0,69 | 0,59 ab |
| Plástico | 2,26 | 3,73 | 3,00 c | 0,44 | 0,50 | 0,47 b |
| Capina | 3,44 | 4,42 | 3,93 ab | 0,83 | 0,73 | 0,78 ab |
| Infestado | 2,73 | 4,46 | 3,59 bc | 0,98 | 0,90 | 0,94 a |
| Média | 2,99 B | 4,49 A | 3,74 | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
| CV (%) | 13,31 | | 28,79 | | | |

Letras iguais maiúsculas na linha (época) e minúsculas na coluna (tratamento) não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Bonferroni.

Em relação ao nitrogênio mineral, o amônio não demonstrou diferenças no verão, porém, no inverno, mostrou maior valor no *mulching* plástico preto ($3,38 \text{ mg kg}^{-1}$) quando comparado a serragem ($1,65 \text{ mg kg}^{-1}$) e a capina ($1,45 \text{ mg kg}^{-1}$), essa diferença foi em média 54% a mais. O nitrato também foi maior no tratamento com o plástico quando comparado a capina e ao infestado, 5,69, 2,59 e 2,83 mg kg^{-1} respectivamente. Essa diferença nos valores de nitrato correspondem a cerca de 52% a mais sob *mulching* plástico preto, o que indica

menor perda nitrato. Isto se deve a maior proteção no solo provocada pelo *mulching* plástico, o que dificulta a infiltração e consequente percolação de água pelo perfil de solo, atuando na redução da lixiviação de nitrato e diminuindo a necessidade de adubação de cobertura (STRECK et al., 1994). No inverno, a redução nos teores de nitrato foi de 5,21 para 2,22 mg kg⁻¹ (Tabela 3), principalmente decorrente da maior freqüência de chuvas típicas desta região na estação.

Houve maior relação C/Nmic no *mulching* serragem que nos tratamentos com acícula, plástico preto, e infestado. Em média os valores obtidos no *mulching* serragem foi de 4,81% contra 3,67, 3,00 e 3,59% dos demais tratamentos respectivamente (Tabela 3). A maior relação C/Nmic na serragem pode ser explicada pela menor quantidade de nitrogênio da serragem (0,63 g kg⁻¹) em comparação a acícula (1,44 g kg⁻¹), o que corresponde a menos da metade (Tabela 4). No inverno esta relação aumentou de 2,99 para 4,49%, provavelmente devido ao acréscimo sazonal na quantidade de carbono microbiano (Tabela 2).

Tabela 4 - Carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), respiração basal microbiana (C-CO₂), umidade gravimétrica (Ug), e relação C/N de acícula, serragem e serragem decomposta utilizados para cobertura orgânica em pomares de maçã orgânico e integrado em Vacaria – RS.

| Material | C g kg ⁻¹ | N g kg ⁻¹ | P g kg ⁻¹ | C-CO ₂ mg CO ₂ /100g.h ⁻¹ | Ug % | C/N % |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---|---------|----------|
| Acícula | 390,4 | 1,44 a | 2,9 | 13,97 | 65,37 | 27,13 b |
| Serragem | 373,8 | 0,76 b | 2,8 | 17,55 | 60,83 | 49,38 ab |
| Serragem decomposta | 396,6 | 0,51 b | 1,1 | 21,48 | 60 | 77,46 a |

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Bonferroni. A ausência de letras representa que não há diferenças estatísticas entre os materiais estudados.

O maior acúmulo de fósforo da biomassa microbiana (Pmic) foi verificado no inverno nos tratamentos com capina e *mulching* plástico preto, onde os valores médios encontrados foram de 9,4 e 7,2 µg g⁻¹ respectivamente. Nesta mesma época, estes mesmos tratamentos tiveram menor relação C/Pmic, cujos valores ficaram em 19,9 µg g⁻¹ na capina e 25,3 µg g⁻¹ no plástico preto. Isto significa dizer que estes tratamentos tiveram maior índice de imobilização de fósforo na biomassa microbiana, em média 70% a mais (Tabela 5). Não

houve diferença nos teores de fósforo extraível entre os tratamentos. A ciclagem do fósforo pode ser afetada pelas modificações impostas pelo manejo, tornando-se mais significativo em solos de regiões tropicais com baixos conteúdos de fósforo e alta adsorção (MATOS et al., 2006). Nestes solos a biomassa microbiana atua como reservatório de fósforo impedindo que parte deste P incorporado no solo pela adubação se transforme em formas menos disponíveis (VILLANI, 2003). O P é o segundo elemento que mais limita a produtividade das plantas, sendo muito requerido pelas mesmas, pois está presente em componentes estruturais das células como nos ácidos nucléicos e fosfolipídios das biomembranas, e também em componentes metabólicos móveis armazenadores de energia, como o ATP (GATIBONI, 2003). A absorção de fósforo pelas plantas se dá pelo sistema radicular, portanto, no caso do estudo em questão, o controle total de plantas espontâneas nas áreas de *mulching* plástico preto e capina (PELIZZA, 2007) criou uma condição de ausência de outras plantas que, além da macieira, também absorveriam o fósforo disponível. Desta forma, havendo maior oferta de fósforo na superfície do solo, os microrganismos foram beneficiados podendo imobilizar maior quantidade deste elemento em sua biomassa.

A maior umidade do solo foi observada nos *mulchings* orgânicos (serragem e acícula) quando comparados ao *mulching* plástico e a capina. Em média, estes valores ficaram em 42,4% para a acícula e 43,3% para a serragem contra 35,2% para o plástico e 33,3% para a capina. Essa diferença de umidade gira em torno de 15% (Tabela 5). Isto porque o Sul do Brasil é caracterizado pelo seu clima subtropical, não havendo, portanto, a necessidade de se lançar mão de técnicas de irrigação pela regularidade e suficiência de chuvas. Sendo assim, são raros os pomares que utilizam manejo com irrigação do solo. Nesta situação, o plástico preto reduz a umidade do solo, pois é composto de polietileno, material impermeável que constitui uma barreira física a ação da chuva, permitindo infiltração da água no solo somente na área descoberta ao contorno do plástico e nas áreas em que este estiver danificado (furos e

rasgos). Desta forma, a água da chuva, impedida de infiltrar, escoa sobre o plástico preto prejudicando a umidade do solo. O que contradiz a literatura encontrada sobre plástico preto, entre eles Streck et al. (1994), Li et al. (2004; 2007). Essa contradição ocorre porque nas regiões áridas e semi-áridas do mundo, caracterizadas por chuvas mais escassas, se faz o uso de irrigação em conjunto ao uso do plástico preto. Nesta situação, os pontos de irrigação ficam em contato direto com o solo, o que faz com que a água infiltre abaixo do plástico. Desta forma, a barreira física do polietileno preto impede a saída do vapor d'água e por consequência mantém maior umidade abaixo do plástico ao contrário do que ocorre nas regiões de clima temperado, que é o caso das regiões de altitude do sul do Brasil.

Tabela 5 - Fósforo da biomassa microbiana (Pmic), relação C/P microbiana (Cmic/Pmic), temperatura do solo (Ts) e umidade gravimétrica do solo (Ug) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema orgânico de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo, capina e solo infestado em Vacaria - RS.

| Tratamentos | Pmic ($\mu\text{g g}^{-1}$) | | | C/Pmic ($\mu\text{g g}^{-1}$) | | |
|--------------|----------------------------------|-------------|--------------|------------------------------------|----------------|-----------------|
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 5,52 aA | 5,75 bA | 5,63 | 45,96 a | 78,56 a | 62,26 |
| Serragem | 4,68 aA | 5,78 bA | 5,23 | 69,60 a | 72,66 a | 71,13 |
| Plástico | 4,11 aA | 7,23 aA | 5,98 | 27,30 a | 19,87 b | 23,59 |
| Capina | 4,17 aA | 9,35 aA | 6,76 | 80,83 a | 25,33 b | 53,08 |
| Infestado | 4,18 aA | 4,36 bA | 4,29 | 57,91 a | 78,19 a | 68,05 |
| Média | 4,59 | 6,49 | 5,61 | 56,32 | 54,92 | 55,62 |
| CV (%) | 19,86 | | | 23,54 | | |
| Tratamentos | Ts (°C) | | | Ug (%) | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 22,00 bcA | 11,40 bB | 16,7 | 46,03 | 40,01 | 42,41 ab |
| Serragem | 22,70 bcA | 11,83 bB | 17,27 | 45,63 | 40,88 | 43,25 a |
| Plástico | 25,17 aA | 16,07 aB | 20,62 | 39,25 | 32,53 | 35,22 c |
| Capina | 23,07 bA | 11,06 bB | 17,33 | 40,42 | 28,54 | 33,29 c |
| Infestado | 21,63 cA | 10,10 bB | 15,87 | 39,12 | 36,17 | 37,65 bc |
| Média | 22,91 | 12,2 | 17,56 | 42,14 A | 35,63 B | 38,52 |
| CV (%) | 3,66 | | | 6,78 | | |

Letras iguais maiúsculas na linha (época) e minúsculas na coluna (tratamento) não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Bonferroni.

Em relação às coberturas orgânicas, que apresentam porosidade, há favorecimento na penetração da água da chuva e infiltração desta no solo. Juntamente a isto, o fato das coberturas orgânicas protegerem o solo do vento e da exposição direta dos raios solares, contribui para reduzir a evaporação, porque diminui a superfície evaporativa (MARTENS, 2001), evitando que a umidade diminua com rapidez como ocorre em solos descobertos, caso do tratamento com capina. Entretanto, Griffith apud Jacks et al. (1955) constatou que também pode ocorrer um comportamento de diminuição da umidade do solo proveniente de chuvas de curta duração e baixa intensidade, devido à barreira física proveniente dos *mulchings* orgânicos. Os resultados encontrados também contradizem os demais trabalhos realizados com plástico preto em comparação aos *mulchings* orgânicos. Por se tratar de regiões áridas e semi-áridas, o mesmo fato se faz presente com a utilização de irrigação em conjunto com os *mulchings* orgânicos, onde o vapor d'água tem difusão facilitada, perdendo umidade mais rápido que o plástico preto. Além disso, nas regiões áridas e semi-áridas, a evaporação é mais intensa e essa diferença de umidade fica mais evidente. Porém, os resultados apresentados comparando os *mulchings* orgânicos ao solo descoberto são similares aos obtidos por Oliveira & Souza (2003) e Tu et al. (2006), num Argissolo vermelho amarelo na cultura da bananeira e num solo franco arenoso na cultura do tomate, respectivamente. Tu et al. (2006) encontraram maior umidade do solo sob mulching orgânico em média 22%. Já Oliveira & Souza (2003) encontraram umidade maior em média 7% em solo sob *mulching* orgânico.

Nas duas épocas de amostragem houve maior temperatura no *mulching* plástico preto, em média os valores ficaram em 25 °C no verão e 16 °C no inverno (Tabela 5). Estes valores do plástico foram maiores que os demais tratamentos 11% no verão e 30% no inverno. Isto se deve pela maior absorção de radiação pelo polietileno preto, devido ao seu menor albedo. Desta forma, grande parte da radiação líquida é utilizada em fluxo de calor sensível para o aquecimento (REICHARDT e TIMM, 2004). Quanto maior a área com *mulching*, maior o

efeito na temperatura do solo (STRECK et al., 1994). Ramakrishna et al. (2006) também verificaram aumento da temperatura no plástico de em média 11%. Li et al. (2007) também verificaram aumento da temperatura do solo sob *mulching* plástico de em média 13% em diferentes classes de solo.

4.2 COBERTURAS DE SOLO (*MULCHING*) NO SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO DE MAÇÃS

Com base na análise de variância observou-se que os atributos microbianos carbono da biomassa (Cmic), nitrogênio da biomassa (Nmic), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), relação Nmic/Ntotal e C/Nmic apresentaram diferenças entre as fontes de variação estudadas: tratamentos de cobertura do solo, época de amostragem e a interação entre estes (Tabela 6). Por serem atributos sensíveis às mudanças ocorridas na qualidade do solo, os bioindicadores apontaram diferenças decorrentes da cobertura do solo utilizada. Os atributos comprimento de micélio extra-radicular de fungos micorrízicos arbusculares (Micélio), imobilização de fósforo (Cmic/Pmic), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e densidade do solo (Ds) não indicaram diferenças entre as fontes de variação (Tabela 6).

Verificou-se menor conteúdo de carbono microbiano (Cmic) no solo sob *mulching* plástico no verão, com valor de $115 \mu\text{g g}^{-1}$, o que representou cerca de 40% a menos que nos demais tratamentos. Similar ao que ocorreu no pomar orgânico, por afetar a temperatura e a umidade do solo, o uso do *mulching* pode mudar suas características biológicas, alterando desta maneira a qualidade do solo (Li et al., 2004). A película protetora do polietileno desfavorece novas entradas de matéria orgânica fresca, diminuindo com isso a população microbiana, pois esta vai mineralizar rapidamente a matéria orgânica existente naquele local. No inverno, o *mulching* serragem obteve maior Cmic, ficando em média $395 \mu\text{g g}^{-1}$, representando 22% a mais do que os demais tratamentos. Tu et al. (2006) também

encontraram diferenças nos conteúdos de Cmic entre *mulchings* orgânicos, sendo que esta diferença foi de até 56%. Ocorreu ainda um incremento do Cmic no inverno em cerca de 50%. Comportamento similar foi encontrado por Maluche-Bareta et al. (2007) ao detectar maior Cmic no inverno em pomares de maçã, onde o incremento sazonal deste atributo foi de 11%, e por Souza (2005) em áreas de reflorestamento, onde o incremento foi de 24%.

Tabela 6 - Análise de variância pelos métodos geométricos lineares para carbono microbiano (Cmic), respiração microbiana do solo (C-CO₂), quociente metabólico (*qCO₂*), comprimento de micélio extra radicular (Micélio), carbono orgânico do solo (Corg), estoque de carbono (ECorg), relação Cmic/Corg, nitrogênio microbiano (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral amônio (NH₄⁺), nitrogênio mineral nitrato (NO₃⁻), relação Nmic/Ntotal, fósforo microbiano (Pmic), fósforo extraível (P), relação C/P microbiana, relação C/N microbiana, relação C/N do solo, pH em água e SMP, sódio extraível (Na), potássio extraível (K), alumínio trocável (Al), umidade gravimétrica do solo (Ug), temperatura do solo (Ts) e densidade do solo (Ds) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria - RS.

| Atributo | Fontes de Variação | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|-------|-------|---------|---------|
| | Tratamento | Época | Bloco | Trat*Ép | Q M E |
| Cmic | * | * | ns | * | 346,79 |
| C-CO₂ | ns | * | ns | ns | 0,25 |
| qCO₂ | * | * | ns | * | 0,71 |
| Micélio | ns | ns | ns | ns | 0,06 |
| Corg | * | ns | ns | ns | 5,03 |
| ECorg | ns | ns | ns | ns | 0,12 |
| Cmic/Corg | * | * | ns | ns | 0,01 |
| Nmic | * | * | ns | * | 28,20 |
| Ntotal | * | ns | ns | ns | 8,84 |
| NH₄⁺ | * | ns | ns | ns | 0,88 |
| NO₃⁻ | * | * | ns | * | 2,66 |
| Nmic/Ntotal | * | * | ns | * | 0,01 |
| Pmic | ns | * | ns | ns | 2,53 |
| P | ns | ns | ns | ns | 6,68 |
| C/Pmic | ns | ns | ns | ns | 0,13 |
| C/Nmic | * | ns | ns | * | 1,55 |
| C/Nsolo | * | * | ns | ns | 0,23 |
| pH-água | * | ns | ns | ns | 0,01 |
| pH-SMP | * | ns | ns | ns | 0,02 |
| Na | ns | ns | ns | ns | 1,11 |
| K | ns | ns | ns | ns | 1480,52 |
| Ug | * | * | ns | ns | 6,68 |
| Ts | * | * | ns | ns | 0,5 |
| Ds | ns | ns | ns | ns | 0,01 |

* teste de f significativo a 5%; ns – não significativo; QME – quadrado médio do erro

O Corg não diferiu entre os tratamentos de cobertura do solo (Tabela 7). A respiração microbiana diferiu apenas entre os períodos, sendo que no inverno esta se encontrou maior, o

que pode ser explicado pelo aumento da quantidade de Cmic nesta mesma época. O $q\text{CO}_2$ foi maior no *mulching* plástico preto no verão. Este valor ficou em média 5,65 $\mu\text{gC-CO}_2/\mu\text{gCmic g}^{-1}$ solo.h⁻¹, ou seja, um $q\text{CO}_2$ 65% maior no solo sob plástico que nos outros tratamentos. Este resultado demonstra estresse microbiano gerado provavelmente pelo aumento da temperatura e redução da umidade do solo. No inverno não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Ainda nesta época, houve redução de 52% no teor de $q\text{CO}_2$ da cobertura plástica (Tabela 7).

Tabela 7 - Carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), relação Cmic/Corg (Cmic/Corg) e carbono orgânico do solo (Corg) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria - RS.

| Tratamentos | Cmic ($\mu\text{g g}^{-1}$) | | | $q\text{CO}_2$ ($\mu\text{gC-CO}_2/\mu\text{gCmic g}^{-1}$ solo.h ⁻¹) | | |
|--------------|----------------------------------|---------------|----------------|---|--------------|----------------|
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 190,84 aB | 323,84 bA | 255,34 | 2,58 bA | 1,79 aA | 2,38 |
| Serragem | 198,06 aB | 395,20 aA | 316,34 | 2,56 bA | 1,57 aA | 1,97 |
| Plástico | 115,14 bB | 273,91 bA | 195,52 | 5,65 aA | 2,64 aB | 4,14 |
| Infestado | 212,89 aB | 322,17 bA | 232,24 | 0,84 bA | 2,33 aA | 1,74 |
| Média | 159,00 | 334,76 | 246,88 | 3,00 | 2,06 | 2,53 |
| CV (%) | 22,35 | | | 44,42 | | |
| Tratamentos | Cmic/Corg (%) | | | Corg (g kg^{-1}) | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 0,75 | 0,9 | 0,83 ab | 30,30 | 30,78 | 30,36 a |
| Serragem | 0,73 | 1,05 | 0,92 a | 31,22 | 33,71 | 33,51 a |
| Plástico | 0,51 | 0,74 | 0,62 b | 29,61 | 31,25 | 30,43 a |
| Infestado | 0,81 | 1,04 | 0,94 a | 28,38 | 29,36 | 29,37 a |
| Média | 0,70 B | 0,95 A | 0,83 | 29,88 | 31,28 | 30,58 |
| CV (%) | 10,74 | | | 9,5 | | |

Letras iguais maiúsculas na linha (época) e minúsculas na coluna (tratamento) não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Bonferroni.

A relação Cmic/Corg foi menor no *mulching* plástico preto (0,62%) quando comparado aos tratamentos serragem (0,92%) e infestado (0,94%). Semelhante ao que ocorreu no pomar orgânico, a população microbiana teve menor capacidade em utilizar o carbono da matéria orgânica na formação de tecido celular quando sujeita ao plástico. Com

relação ao efeito de época sobre este mesmo atributo, houve um incremento de 26% no inverno. Este incremento está ligado a maior biomassa microbiana na matéria orgânica.

O nitrogênio microbiano (Nmic) foi maior no *mulching* acícula nas duas épocas amostrais (Tabela 8). O valor deste atributo nesta cobertura foi de $68 \mu\text{g g}^{-1}$ no verão e $79 \mu\text{g g}^{-1}$ no inverno. O *mulching* serragem mostrou valores semelhantes ao da acícula no inverno, onde os teores médios de Nmic foram de $93 \mu\text{g g}^{-1}$. Já o Ntotal não apresentou diferenças entre tratamentos e épocas de amostragem. O *mulching* acícula obteve maior relação Nmic/Ntotal no verão quando comparado aos tratamentos serragem e infestado. Estas quantidades foram de 0,72% para o *mulching* acícula contra 0,27% para o *mulching* serragem e 0,18% para a testemunha infestada. No inverno não houve diferença entre os tratamentos.

A acícula, por apresentar maior conteúdo de nitrogênio (Tabela 4), cerca de duas vezes se comparada à serragem, proporcionou maior Nmic e Nmic/Ntotal no solo sob *mulching* de acícula (Tabela 9). Isto faz com que os microrganismos imobilizem maiores conteúdos deste elemento em seu tecido. Fato ocorrido principalmente no verão, onde a mineralização ocorre em maior intensidade.

Em relação ao nitrogênio na forma mineral, o amônio apresentou menor valor no *mulching* acícula em comparação ao tratamento infestado (Tabela 8). Estes valores foram $2,62 \text{ mg kg}^{-1}$ para o *mulching* acícula e $4,61 \text{ mg kg}^{-1}$ para a testemunha infestada. Já o nitrato não demonstrou diferenças entre tratamentos de cobertura de solo nas duas épocas. Porém, tratando-se de efeito sazonal, apenas o *mulching* plástico demonstrou valores iguais de nitrato. Isto pode ser explicado pela barreira física que o polietileno estabelece impedindo reduções de nitrato pela lixiviação em estações chuvosas (CLARKSON, 1960; STRECK et al., 1994). Os demais tratamentos reduzem em média 24% este atributo no inverno (Tabela 13). Essa redução se deve a maior freqüência de chuvas nesta estação.

Tabela 8 - Nitrogênio da biomassa microbiana (Nmic), nitrogênio total (Ntotal), nitrogênio mineral amônio (NH_4^+), nitrogênio mineral nitrato (NO_3^-), relação C/N microbiana e relação Nmic/Ntotal no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria - RS.

| Tratamentos | Nmic ($\mu\text{g g}^{-1}$) | | | Ntotal (g kg^{-1}) | | |
|--------------|--|--------------|----------------|--|--------------|----------------|
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 68,34 aA | 79,23 aA | 73,78 | 9,52 | 9,59 | 9,55 a |
| Serragem | 28,95 bA | 93,32 aA | 67,57 | 12,43 | 13,37 | 12,99 a |
| Plástico | 45,62 bA | 49,85 bA | 47,73 | 10,82 | 9,12 | 9,97 a |
| Infestado | 27,12 bB | 56,05 bA | 44,48 | 18,17 | 10,68 | 15,17 a |
| Média | 42,5 | 70,63 | 56,57 | 13,34 | 10,99 | 12,17 |
| CV (%) | 11,70 | | 29,97 | | | |
| Tratamentos | NH_4^+ (mg kg^{-1}) | | | NO_3^+ (mg kg^{-1}) | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 3,63 | 2,01 | 2,82 b | 3,66 aA | 1,9 aB | 2,78 |
| Serragem | 4,77 | 2,74 | 3,75 ab | 6,05 aA | 2,68 aB | 4,03 |
| Plástico | 4,17 | 3,59 | 3,88 ab | 2,65 aA | 3,78 aA | 3,21 |
| Infestado | 4,11 | 5,12 | 4,61 a | 5,06 aA | 4,63 aB | 4,80 |
| Média | 4,17 | 3,48 | 3,83 | 4,35 | 3,33 | 3,84 |
| CV (%) | 32,77 | | 43,11 | | | |
| Tratamentos | C/Nmic (%) | | | Nmic/Ntotal (%) | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 2,75 aB | 4,11 bA | 3,43 | 0,72 aB | 0,83 aA | 0,77 |
| Serragem | 7,82 aA | 4,23 bA | 5,66 | 0,27 bB | 0,73 aA | 0,54 |
| Plástico | 2,61 aB | 5,49 aA | 4,05 | 0,45 abB | 0,56 aA | 0,50 |
| Infestado | 8,04 aA | 5,77 aA | 6,68 | 0,18 bB | 0,51 aA | 0,34 |
| Média | 5,3 | 4,92 | 5,09 | 0,40 | 0,66 | 0,53 |
| CV (%) | 32,30 | | 27,08 | | | |

Letras iguais maiúsculas na linha (época) e minúsculas na coluna (tratamento) não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Bonferroni.

O C/Nmic não diferiu entre tratamentos no verão (Tabela 8). Porém no inverno as coberturas orgânicas demonstraram menor C/Nmic, estes valores foram em média 4,11% no *mulching* acícula e 4,23% no *mulching* serragem. Isto significa que as populações microbianas do solo sob os mulchings orgânicos tiveram maior capacidade de imobilizar o nitrogênio em sua biomassa.

Com relação ao fósforo microbiano Pmic observou-se apenas um aumento de 40% na quantidade Pmic no inverno. Esse aumento na quantidade de fósforo microbiano está ligado

ao aumento da população microbiana no inverno, constatada pelos maiores conteúdos de Cmic, conforme mostrado anteriormente (Tabela 7).

Não houve diferenças no pH determinado em água e em SMP. A temperatura do solo foi maior no tratamento plástico preto ($16,6^{\circ}\text{C}$), significando em média 8% a mais que os outros tratamentos. Neste mesmo tratamento a umidade foi menor quando comparada ao *mulching* acícula, sendo estes valores de 38% para o *mulching* plástico e 42% para o *mulching* acícula (Tabela 9).

Tabela 9 - pH em água e SMP, temperatura do solo (Ts) e umidade gravimétrica do solo (Ug) no verão (fevereiro/2006) e no inverno (agosto/2006) em sistema integrado de produção de maçã utilizando acícula, de serragem, plástico preto como cobertura do solo e solo infestado em Vacaria - RS.

| Tratamentos | pH Água | | | pH SMP | | |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 5,91 | 5,76 | 5,84 a | 6,06 | 6,12 | 6,09 a |
| Serragem | 5,63 | 5,51 | 5,57 a | 5,54 | 6,12 | 5,89 a |
| Plástico | 5,75 | 5,39 | 5,56 a | 5,71 | 5,7 | 5,70 a |
| Infestado | 5,79 | 5,20 | 5,49 a | 5,8 | 5,8 | 5,80 a |
| Média | 5,77 | 5,44 | 5,6 | 5,78 | 5,94 | 5,86 |
| CV (%) | 2,11 | | | 2,16 | | |
| Tratamentos | Ts °C | | | Ug % | | |
| | Época | | Média | Época | | Média |
| | Verão | Inverno | | Verão | Inverno | |
| Acícula | 21,5 | 10,70 | 15,02 b | 39,99 | 43,39 | 41,69 a |
| Serragem | 22,00 | 11,43 | 15,06 b | 36,33 | 40,97 | 38,48 ab |
| Plástico | 22,75 | 12,57 | 16,64 a | 35,65 | 40,49 | 38,07 b |
| Infestado | 21,07 | 9,90 | 15,48 b | 38,30 | 40,84 | 39,57 ab |
| Média | 21,74 A | 10,90 B | 16,32 | 37,65 B | 41,32 A | 39,49 |
| CV (%) | 5,13 | | | 5,63 | | |

Letras iguais maiúsculas na linha (época) e minúsculas na coluna (tratamento) não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Bonferroni.

Sendo este estudo aplicado a regiões de clima temperado e sem o uso de irrigação, de forma semelhante ao que ocorreu no sistema orgânico, o *mulching* plástico preto reduziu a umidade do solo. Isto porque sendo o *mulching* plástico de material de polietileno, impermeável à água, forma uma barreira física a ação das chuvas, permitindo infiltração da água no solo somente na área descoberta ao contorno do plástico e nas áreas em que este

estiver danificado (furos e rasgos). Assim a água da chuva, impedida de infiltrar, escorre sobre o plástico preto prejudicando a umidade do solo. Com relação à cobertura de acícula, por ser mais porosa, permite a infiltração de água no solo ao contrário do plástico preto.

Tratando-se da temperatura, maior parte da energia solar incidente sobre o polietileno preto é absorvida por ele devido a sua coloração, desta forma grande parte da radiação líquida é utilizada em fluxo de calor sensível para o aquecimento. Quanto maior a área com *mulching* maior o efeito na temperatura do solo (STRECK et al., 1994). Também verificado por Ramakrishna et al. (2006) e por Li et al. (2007) citado anteriormente no pomar orgânico.

5. CONCLUSÕES

Nas condições estudadas neste trabalho conclui-se que:

As coberturas orgânicas do solo propiciaram aumentos nos teores de C e N e reduções nos teores de P dos compartimentos microbianos. O uso do plástico preto afetou negativamente os teores de C e N além de aumentar os teores de P dos compartimentos microbianos e $q\text{CO}_2$.

As coberturas orgânicas promoveram as menores temperaturas e as maiores umidades do solo enquanto a cobertura plástica propiciou maiores temperaturas e menores umidades.

As coberturas orgânicas promoveram maiores teores de Corg enquanto a cobertura plástica propiciou maiores teores de nitrogênio mineral amônio e nitrato no pomar orgânico.

O carbono, o nitrogênio, o fósforo da biomassa microbiana e o $q\text{CO}_2$ constituíram os principais indicadores de alterações na qualidade biológica do solo promovidas pelas coberturas orgânica e plástica.

REFERÊNCIAS

AGRICULTURA ORGÂNICA, 2006. In: <http://www.seag.es.gov.br/organica.htm>. Acesso em 20/04/2007.

ALVEAR, M.; ROSAS, A.; ROUANET, J.L. et al. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. **Soil & Tillage Research**, v.82, p.195–202, 2005.

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.21, n.4, p.471- 479, 1989.

ANDERSON, T. H.. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality Agriculture. **Ecosystems and Environment**. v.98, p. 285–293, 2003.

ASHTON, E.C. & MACINTOSH, D.J.. Preliminary assessment of the plant diversity and community ecology of the Sematan mangrove forest, Sarawak, Malaysia, **Forest Ecol. Manag.** v.166, p.111–129, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ, 2003. In: http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=2941. Acesso em 31/06/2006.

BADIANE, N.N.Y.; CHOTTE, J.L. ; PATE, E. et al. Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. **Appl. Soil Ecol.**, v.18, p.229–238, 2001.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. et al. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in sandy clay loam acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnectic resonance. **Soil Till. Research**, v.53, p.95-104, 2000.

BAYER, C.. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: **FERTBIO 2004: XXVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; X Reunião Brasileira Sobre Micorrizas; VIII Simpósio Brasileiro**

de Microbiologia do Solo e V Reunião Brasileira de Biologia do Solo. Lages, SC. 2004.
(Palestra)

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J.. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ci. Solo.** Campinas, v.14, p.369-374, 1990.

BROOKES, D.S.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass in phosphorus in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, p.319-329, 1982.

BUHLER, D.D.; LIEBMAN, M. & OBRYCKI, J.J.. Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. **Weed Science**, v.48, p. 274–280, 2000.

BUSER, H.R.. Atrazine and other s-triazine herbicides in lakes and in rain in Switzerland. **Environ. Sci. Technol.**, v.24, p.1049-1058, 1990.

CARDOSO, M.O.. Métodos para quantificação da biomassa microbiana do solo. **Agropecuária Técnica**, v.25, p. 1-12, 2004..

CHAPMAN, S.J.; CAMPBELL, C.D. & PURI, G.. Native woodland expansion: soil chemical and microbiological indicators of change. **Soil Biology & Biochemistry**, v.35, p.753–764, 2003.

CHEN, G.; HONGLONG, Z & ZHANG, Y.. Soil microbial activies and carbon and nitrogen fixation. **Research in Microbiology**, v.154, p.393-398, 2003.

CLARKSON, V. A.. Effect of black polyethylene mulch on soil and microclimate temperature and nitrate level. **Agronomy Journal**. Madison, v.52, p.307-309, 1960.

CONACHER, J., CONACHER, A.,. Organic farming and the environment, with particular reference to Australia: a review. **Biol. Agric. Hortic.**, v.16, p.145–171, 1998.

COREA, E.J.V. **Avaliação do carbono orgânico do solo sob diferentes condições de manejo.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, MG, 1998. 76p. (Tese de Mestrado).

DAROLT, M. R.. **Agricultura orgânica: inventando o futuro.** Londrina, IAPAR, 2002.

DE-POLLI, H. & GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A & CAMARGO, F. A.O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo – Ecossistemas Tropicais e Subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, 1999. Capítulo 17, p.389-411.

DOMINY,C.S. & HAYNES, R.J.. Influence of agricultural land management on organic matter content, microbial activity and aggregate stability in the profiles of two oxisols, **Biol. Fert. Soils**, v.36, p.298–305, 2002.

DORAN, J.W. & SAFLEY, M.. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M, Gupta, V.V.S.R. (Eds.), **Biological Indicators of Soil Health CAB International.** USA, UK, p. 2–23, 1997.

DRINKWATER, L.E.; LETOUMEAU, D.K.; WORKNEH, F. et al. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. **Ecological Applications.** v.5, p.1098–1112, 1995.

DROOGERS, P. & BOUMA, J.. Biodynamic versus conventional farming effects on soil structure expressed by simulated potential productivity. **Soil Science Society American Journal**, v.60, p.1552–1558, 1996.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. et al. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G.(Eds.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems.** Honolulu: University of Hawaii Press, p.33-67, 1989.

EDWARDS, C. A. Impact of herbicides on soil ecosystems. **Crit. Rev. Plant Sci.**, v.8, p.221-257, 1989.

EMBRAPA, 2004. In: www.cnpma.embrapa.br/projetos/prodint/item5.html. Acesso em: 31/07/2006.

FONTAINE, S.; MARIOTTI, A. & ABBADIE, L.. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? **Soil Biology & Biochemistry**, v.35, p.837–843, 2003.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.92, p.18-29, 2006.

FRANZLUEBBERS, A.J.; LANGDALE, G.W. & SCHOMBERG, H.H. Soil carbon, nitrogen and aggregation in response to type and frequency of tillage, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.63, p.349–355, 1999.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.893-901, 2005.

GATIBONE, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Santa Maria, PR, UFSM, 2003. 247 p. Tese (Doutorado em Biodinâmica dos Solos).

GEBLER, L.. O Impacto Ambiental Relacionado à Produção Integrada de Maçãs. **Jornal da Fruta**. Lages-SC, p.17, 2003.

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. **Agric. Ecosystem Env.**, v.80, p.29-45, 2000.

GUNAPALA, N. & SCOW, K. M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. **Soil Biol. Biochem.**, v.30, p.805-826, 1998.

GUO, Z.L. & GU, SH.-L.. Effect of film-mulching method on yield and economic efficiency of millet. **Agricultural Research in the Arid Areas**, v.18, p.33–39, 2000.

HAN, Y.X. & WAN, X.. A preliminary analysis on agricultural effects of cotton field mulched with plastic film. **Gansu Agricultural Sciences and Technology**, v.8, p.14–16, 1995.

HESS, F. D. Mode of action of lipid biosynthesis inhibitors (Graminicides – Accase Inhibitors). In: **Herbicide action course**. West Laffeyte: Purdue University, 1995. 787 p.

JACKS, G.V.; BRIND, W.D. & SMITH, R.. Mulching. Tech. Commun. **Commonwealth Bureau of Soil Science**, v.49, p.1–87, 1955.

JÄGGI, W. Die Bestimmung der CO₂-Biulding als Maß der bonbodenbiologischen Aktivität. **Schwiez Landwirtschaft Forchung Band 15**, Heft, v.314, p.317-380, 1976.

JIMÉNEZ, M. P. ; DE LA HORRA, A.M.; PRUZZO, L. et al. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. **Biol. Fertil. Soils**, v.35, p.302–306, 2002.

KHATOUNIAN, C. A.. A reconstrução ecológica da agricultura. **Agroecológica**. Botucatu, 2001. 348 p.

KINNEY, C. A.; MANDERNACK, K. W. & MOSIER, A. R. Laboratory investigations into the effects of the pesticides mancozeb, chlorothalonil, and prosulfuron on nitrous oxide and nitric oxide production in fertilized soil. **Soil Biol. Biochem.** v.37, p.837-850, 2005.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.821-832, 2003.

LEMENIH, M.; KARLTUN, E. & OLSSON, M.. Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.105, p.373–386, 2005.

LI, F.-M.; GUO, A.-H. & WEI, H.. Effects of plastic film mulch on the yield of spring wheat. **Field Crops Research**. v.63, p.79–86, 1999.

LI, F. M.; SONG, Q. H.; JJEMBA, P. K. et al. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, p.1893–1902, 2004.

LI, S. Y.; WU, L. H.; ZHAO, L. M. et al. Influence of continuous plastic film mulching on yield, water use efficiency and soil properties of rice fields under non-flooding condition. **Soil & Tillage Research**, v. 93, p. 370–378, 2007.

LIANG, Y.C.; HU, F. & YANG, M.C.,. Mechanisms of high yield and irrigation water use efficiency of rice. **Scientia Agricultura Sinica**, v.32, p.26–32, 1999.

LIEBIG, M.A.; TANAKA, D.L. & WIENHOLD, B.J.. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. **Soil & Tillage Research**, v.78, p.131–141, 2004.

LIPECKI, J. & BERBEC, S.. Soil management in perennial crops: orchards and hop gardens. **Soil & Tillage Research**, v.43, p.169-184, 1997.

LIU, X.R.. Research on comprehensive techniques for mulched broad beans in dryland farming areas. **Agricultural Research in the Arid Areas**, v.18, p.40–46, 2000.

LUO, J.J.. A study on effects of radiation, temperature and soil water of corn planted outside plastic film cover. **Gansu Agricultural Sciences and Technology**, v.2, p.6–9, 1992.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T. & KLAUBERG FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesq. agropec. bras.**, v.41, p.1531-1539, 2006.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C. V. T. et al. Atributos microbiológicos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de santa catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2007. (No Prelo)

MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1177-1182, 2000.

MARIN, A.M.P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 83p. (Tese de Mestrado)

MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E. et al. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators**. 2005, IN PRESS.

MARTIN,C. & JOHNSON,W.. Variation in radiocarbon ages of soil organic matter fractions from late quaternary buried soils. **Quaternary Res.**, v.43, p.232–237, 1995.

MARTENS, D.A.. Nitrogen cycling under different soil management systems. **Advances in Agronomy**. v.70, p.143–192, 2001.

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. M. A. et al. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **R. Bras. Ci. Solo.**, v.30, p.625-632, 2006.

MARX, M.C.; WOOD, M. & JARVIS, S.C.. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils. **Soil Biol. Biochem.**, 33, p.1633–1640, 2001.

MELERO, S.; PORRAS, J. C. R.; HERENCIA, J. F. et al. Chemical and biochemical properties in a silty loam soil under conventional and organic management. **Soil & Tillage Research**. v.90, p.162–170, 2006.

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

MONOKROUSOS, N.; PAPATHEODOROU, E. M.; DIAMANTOPOULOS, J.D. et al. Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. **Soil Biology & Biochemistry**. v.38, p.1282–1289, 2006.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Alternative Agriculture. **National Academy**, Washington, D.C., 1989.

NOGUEIRA, M.A.; ALBINO, U. B. & BRANDÃO-JÚNIOR. O. et al. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brasil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.115, p.237-247, 2006.

OLIVEIRA, C. A. P. & SOUZA, C. M.. Influência da cobertura morta na umidade, incidência de plantas daninhas e de broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) em um pomar de bananeiras (*Musa spp.*). **Revista Bras. Frutic.**. Jaboticabal, v.25, p.345-347, 2003

PANKHURST, C.E.; HAWKE, B.G.; MCDONALD, H.J. et al. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. **Australian Journal of Experimental Agriculture**., v.35, p.1015–1028, 1995.

PELIZZA, T. R. Manejo de cobertura do solo e de plantas espontâneas em pomar orgânico de maçãs. Lages, SC, UDESC, 2007. 56 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

PERSCHBACHER, P. W. et al. Evaluation of effects of common aerially- applied soybean herbicides and propangyl on the plankton communities of aquaculture ponds. **Aquaculture**, v. 157, p.117-122, 1997.

PROCÓPIO, S. O. et al. Crescimento de estirpes de *Bradyrhizobium* sob influência dos herbicidas glyphosate potássico, fomesafen, imazethapyr e carfentrazone-ethyl. **Revista Ceres**, v.51, n. 294, p. 179-188, 2004.

QUILCHANZO, C.; EGIDO,J.A. & GONZALEZ, M.I. Comparative soil study in a mediterranean ecosystem of *Quercus pyrenaica* (Willd), **Geomicrobiol. J.**, v.13, p.165–279, 1995.

RAMAKRISHNA, A.; TAM, H. M.; WANI, S. P. et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. **Field Crops Research**., v.95, p.115–125, 2006.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** Barueri, SP: Manole, 478 p., 2004.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTOS DE SOLOS, 6., 2000, Colombo. **Guia de excursão de estudos de solos nos estados Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.** Colombo: Embrapa Florestas / Rio de Janeiro: Embrapa Solos / Campinas: IAC. p.87-88, 2000.

ROSEMBERG, N. J.. **Microclimate: the biological environment.** New York: John Wiley & Sons, 1974. 315 p.

SAKAMOTO, K. & OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. **Biol. Fertil. Soils**, v. 17, p. 39-44, 1994.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics.** New York, Wiley. 1976, 618p.

SANTOS, J. B. **Efeitos do glyphosate sobre o crescimento de estirpes de *Bradyrhizobium*.** Viçosa, MG, UFV, 2004. 56 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia).

SANTOS, J.B.; JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A. et al. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 4, p. 683-691, 2005.

SCHUTTE, G. Prospects of biodiversity in herbicide-resistant crops. **Outlook Agric.**, v.31, p. 193–198, 2002.

SEGHERS, D.; VERTHE, K.; REHEUL, D. et al. Effect of long-term herbicide applications on the bacterial community structure and function in an agricultural soil. **FEMS Mibrob. Ecol.**, v.46, p.139–146, 2003.

SICARDI, M.; GARCÍA-PRÉCHAC, F. & FRIONI, L. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. **Applied Soil Ecology.**, v.27, p. 125–133, 2004.

SOUZA, A. P. et al. Respiração microbiana do solo sob doses de glyphosate e de imazapir. **Planta Daninha**, v. 17, p. 387-398, 1999.

SOUZA, I. M. Z. **Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo em áreas reflorestadas comparadas ao campo e mata nativa no planalto dos campos gerais, SC.** Lages, SC, UDESC, 2007. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo).

SPACCINI, R.; PICCOLO,A.; MBAGWU, J.S.C. et al. Influence of the addition of organic residues on carbohydrate content and structural stability of some highland soils in Ethiopia. **Soil Use Manage.**, v.18, p. 404–411, 2002.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.**, v.30, p.195–207, 1992.

STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M. & BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994.

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

TEMPLER, P.; FINDLAY, S. & LOVETT, G.. Soil microbial biomass and nitrogen transformations among five tree species of the Catskill Mountains, New York, USA. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, n. 4, p.607-613, 2003.

TITI, A. EL; BOLLER, E. F.; GENDRIER, J.P. **Producción integrada: principios y directrices técnicas**. IOBC/WPRS, 1995.

TODA FRUTA, 2003. In: http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=2941. Acesso em: 31/06/2006.

TU, C.; RISTAINO, J. B. & HU, S.. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biology & Biochemistry**. v.38, p.247–255, 2006.

TUFFI SANTOS, L.D. et al. Exsudação radicular do glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto e na respiração microbiana do solo. **Planta Daninha**, v. 23, p.143-152, 2005.

VAN BRUGGEN, A.H.C. & SEMENOV, A.M.. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. **Appl. Soil Ecol.**, v.13, p.13–24, 2000.

VANCE, E.D.; BROOKS, P.C. & JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.**, v.19, p.703-707, 1987.

VILLANI, E.M.A. **Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana: métodos de avaliação e influência da adubação fosfatada em plantações de eucalipto**. Viçosa, MG, UFV, 2003. 56p. (Tese de Doutorado)

WALKLEY, A. & BLACK, A.. An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. **Soil Sci.**, v.37, p.29-37, 1934.

WAMBEKE, A. Van. **Soils of the tropics**. New York, MacGrow Hill., p.139-187, 1992.

WANDER, M.M. & BOLLERO, G.A.. Soil quality assessment of tillage impacts of Illinois. **Soil Science Society of American Journal.**, 63, p.961–971, 1999.

WANG, X.Q.; LI, S.X. & GAO, Y.J.,. Effects of film mulch on physieology and yield of spring corn. **Acta Agronomica Sinica.**, v.24, p.348–353, 1998.

WARDLE, D. A. & PARKINSON, D. Relative importance of the effects of 2,4-D, glyphosate and environmental variables on the soil microbial biomass. **Plant Soil**, v.134, p.209-219, 1991.

WARDLE, D. A. Impact of disturbances on detritus foodwebs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Adv. Ecol. Res.**, v. 26, p.10-17, 1994.

WARREN, G. F. & HESS, F. D. Mode of action of inhibitors of protoporphyrinogen oxidase (Diphenilethers and oxadiazon). In: **Herbicide action course**. West Laffeyte: Purdue University, 1995. 787 p.

VILLANI, E.M.A. **Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana: métodos de avaliação e influência da adubação fosfatada em plantações de eucalipto**. Viçosa, MG, UFV, 2003. 56p. (Tese de Doutorado)

XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.247-258, 2006.

ZHANG, S.F. & MA, T.L. Yield components and cultivation technology of corn with high grain yield through plastic film cover in West Yellow River area. **Gansu Agricultural Sciences and Technology.**, v.1, p.16–17, 1994.

ANEXOS

ANEXO A – Tratamentos fitossanitários do pomar orgânico

ANEXO B - Tratamentos fitossanitários do pomar integrado

ANEXO A – Tratamentos fitossanitários do pomar orgânico

Tratamentos fitossanitários do pomar orgânico. EMBRAPA-Fruticultura temperada, Vacaria, RS.

| DATA | PRODUTO | DOSE (para 100 L de água) |
|-------------|---------------------|----------------------------------|
| 15/09/2005 | Calda sulfocaustica | 2 L |
| 23/09/2005 | Calda sulfocaustica | 3 L |
| 27/09/2005 | Calda sulfocaustica | 3 L |
| 03/10/2005 | Calda sulfocaustica | 3 L |
| 06/10/2005 | Calda sulfocaustica | 3 L |
| 10/10/2005 | Calda sulfocaustica | 2 L |
| 15/10/2005 | Calda sulfocaustica | 2 L |
| 18/10/2005 | Calda sulfocaustica | 2 L |
| 24/10/2005 | Kumulus (Enxofre) | 500 |
| 28/10/2005 | Kumulus (Enxofre) | 500 |
| 04/11/2005 | Kumulus (Enxofre) | 500 |
| 07/11/2005 | Oxicloreto de cobre | 100 |
| 25/11/2005 | Calda sulfocaustica | 1 L |
| 02/12/2005 | Calda sulfocaustica | 1 L |
| 14/12/2005 | Calda sulfocaustica | 1 L |
| 28/12/2005 | Calda sulfocaustica | 1 L |
| 02/01/2006 | Calda sulfocaustica | 1 L |
| 26/01/2006 | Garra (cobre) | 50 |
| 13/03/2003 | Garra (cobre) | 50 |
| 21/03/2006 | Garra (cobre) | 50 |
| 30/03/2006 | Garra (cobre) | 50 |
| 13/04/2006 | Garra (cobre) | 50 |
| 23/05/2006 | Garra (cobre) | 50 |
| 03/06/2006 | Cobre sandoz | 150 |

ANEXO B - Tratamentos fitossanitários do pomar integrado

Tratamentos fitossanitários do pomar integrado. EMBRAPA-Fruticultura temperada, Vacaria, RS.

| DATA | PRODUTO | DOSE (para 100 L de água) |
|-------------|------------------|----------------------------------|
| 15/09/2005 | Dodex/Dormex | 100/500 |
| 23/09/2005 | Dithane/Anvil | 300/25 |
| 25/09/2005 | Dithane/Mythos | 250/100 |
| 03/10/2005 | Delan/Mythos | 65/120 |
| 06/10/2005 | Captan/Unix | 250/20 |
| 10/10/2005 | Delan/Anvil | 50/20 |
| 15/10/2005 | Folpan/Unix | 300/20 |
| 18/10/2005 | Delan/Score | 75/15 |
| 24/10/2005 | Dithane/Stroby | 250/20 |
| 28/10/2005 | Dithane/Stroby | 250/20 |
| 04/11/2005 | Captan/Folicur | 250/70 |
| 07/11/2005 | Captan/Fosfito | 300/200 |
| 16/11/2005 | Dithane/Anvil | 250/20 |
| 18/11/2005 | Dithane | 300 |
| 25/11/2005 | Frowcide/Lorsban | 85/100 |
| 02/12/2005 | Midas | 120 |
| 09/12/2005 | Dithane/Supracid | 300/150 |
| 16/12/2005 | Folpan/Supracid | 300/150 |
| 28/12/2005 | Dithane/Supracid | 300/150 |
| 02/01/2006 | Folpan/Fosfito | 300/200 |
| 09/01/2006 | Sumithion | 150 |
| 16/01/2006 | Garra | 50 |
| 19/01/2006 | Supracid | 150 |
| 25/01/2006 | Dithane | 300 |
| 01/02/2006 | Sumithion | 150 |
| 06/02/2006 | Folpan | 250 |
| 22/02/2006 | Captan/Score | 300/15 |
| 14/03/2006 | Captan/Score | 300/15 |
| 21/03/2006 | Captan/Score | 300/15 |
| 30/03/2006 | Captan/Score | 300/15 |
| 12/04/2006 | Captan/Score | 300/15 |
| 24/04/2006 | Captan/Score | 300/15 |
| 23/05/2006 | Garra | 100 |
| 03/06/2006 | Cobre sandoz | 150 |