



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Riviera Duarte Maluche-Baretta, Carolina; Klauberg-Filho, Osmar; Vidal Talamini do Amarante, Cassandro; Mafra Ribeiro, Genicelli; Almeida, Denice

Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 4, agosto, 2007, pp. 655-665

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214056006>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ATRIBUTOS MICROBIANOS E QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO CONVENCIONAL E ORGÂNICO DE MAÇÃS NO ESTADO DE SANTA CATARINA⁽¹⁾

Carolina Riviera Duarte Maluche-Baretta⁽²⁾, Osmar Klauberg-Filho⁽³⁾,
Cassandro Vidal Talamini do Amarante⁽⁴⁾, Genicelli Mafra
Ribeiro⁽⁵⁾ & Denice Almeida⁽⁶⁾

RESUMO

O estudo foi realizado no município de Urupema-SC, com o objetivo de avaliar os efeitos dos sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs sobre a biomassa microbiana do solo, sua atividade e as relações com o C e o N do solo. Foram feitas amostragens de solo junto à copa de 24 plantas distribuídas em uma grade de 45 x 54 m em pomares submetidos aos dois sistemas de produção, na profundidade de 0–10 cm, nos períodos de dezembro/2002 e junho/2003, para quantificação de teores de C da biomassa microbiana (CBM), C orgânico total do solo (COT), N da biomassa microbiana (NBM), N total do solo (NT), respiração basal (C-CO₂) e obtenção das relações CBM:COT, NBM:NT e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$). O pomar orgânico (PO) apresentou, nas duas épocas de amostragem, os maiores teores de CBM, COT e a maior relação CBM:COT, comparado ao pomar convencional (PC). Os atributos NBM e NT e a relação NBM:NT mostraram-se menos sensíveis às mudanças ocasionadas pelos sistemas de manejo dos pomares e épocas de amostragem. O C-CO₂ não apresentou diferença entre tratamentos, sendo apenas significativo quanto à época de amostragem, enquanto para o $q\text{CO}_2$ os maiores valores encontrados foram no PC.

Termos de indexação: atividade da biomassa microbiana, CDA biomassa microbiana, N da biomassa microbiana, pomar orgânico.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Executado com recursos da CAPES/FINEP/FAPESC/UDESC. Recebido para publicação em fevereiro de 2004 e aprovado em abril de 2007.

⁽²⁾ Doutoranda no Programa de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP. Caixa Postal 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: carolmaluche@bol.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UDESC. Caixa Postal 28, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a20kf@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Fitotecnia, CAV/UDESC. Bolsista do CNPq. E-mail: amarante@cav.udesc.br

⁽⁵⁾ Engenheira-Agrônoma, MSc. em Ciência do Solo. Faculdade Concórdia – FACC. Rua Dom Pedro II 2560, CEP 89700-000 Concórdia (SC). E-mail: genicelli@yahoo.com.br

⁽⁶⁾ Engenheira-Agrônoma, MSc. em Ciência do Solo, CAV/UDESC. E-mail: almeidadeni@yahoo.com.br

SUMMARY: MICROBIOLOGICAL AND CHEMICAL SOIL ATTRIBUTES IN APPLE ORCHARDS UNDER CONVENTIONAL AND ORGANIC PRODUCTION SYSTEMS IN THE STATE OF SANTA CATARINA, BRAZIL

The study was carried out in Urupema, state of Santa Catarina, to evaluate the effects of conventional and organic apple production systems on soil microbial biomass, soil microbial activity and the relationship between soil microbial biomass attributes and C and N soil contents. The soil under the canopy of 24 plants (0–10 cm) was sampled in a 45 x 54 m grid, in both orchards (conventional and organic), in December 2002 and June 2003, and analyzed for: microbial biomass carbon (MBC), total organic carbon (TOC), microbial biomass nitrogen (MBN), total nitrogen (TN), basal respiration ($C\text{-}CO_2$), MBC:TOC and MBN:TN ratios, and metabolic quotient (qCO_2). The values of MBC, TOC, and MBC:TOC ratio were higher in the organic than in the conventional orchard on both sampling dates. The attributes of MBN, TN, and MBN:TN ratio were the least sensitive to management systems and sampling dates. Unlike sampling dates, $C\text{-}CO_2$ did not differ significantly in the treatments. Highest qCO_2 values were found in the conventional orchard.

Index terms: microbial biomass activity, microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, organic orchard.

INTRODUÇÃO

A cultura da maçã assume papel importante na economia brasileira e, em especial, no Estado de Santa Catarina, sendo alvo de substituições do seu sistema de produção convencional pelo sistema orgânico de produção.

A migração para o sistema orgânico apóia-se no questionamento por parte de alguns produtores e da sociedade quanto à sustentabilidade do sistema convencional de produção de maçãs utilizado no Sul do Brasil. Esse sistema é caracterizado pelo alto custo de produção, devido, principalmente, à dependência de recursos não-renováveis, a exemplo de fertilizantes requeridos para manutenção de altos níveis de fertilidade do solo, e ao excessivo número de aplicações de agrotóxicos utilizados no controle fitossanitário. Promove ainda contaminação das águas subterrâneas e presença de resíduos químicos em alimentos, degradação do solo, redução da biodiversidade e dos processos microbianos do solo (Chaboussou, 1987; Altieri, 1999) e representa riscos à saúde dos consumidores e dos trabalhadores que manuseiam os pesticidas (Meurer et al., 2000; Reganold et al., 2000).

No Brasil, a agricultura orgânica cresce cerca de 40 a 50 % ao ano (Tagliari, 2001), em razão, principalmente, da agregação de valor ao produto orgânico, fruto de um mercado de comercialização diferenciado, e da redução dos custos de produção, além dos benefícios quanto à preservação da qualidade do solo e diminuição dos impactos ambientais, em relação ao sistema convencional (Reganold et al., 2000; Camargo et al., 2001).

O sistema de produção orgânico de maçãs em nosso País é ainda recente, havendo, portanto, poucas informações sobre seus benefícios quanto às alterações

nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Atributos químicos e físicos do solo necessitam de maior período de avaliação e cultivo para responderem ao manejo orgânico. Ao contrário, medidas dos processos biológicos são especialmente importantes na avaliação de sistemas de produção, especialmente no manejo orgânico (Werner, 1997), pois são indicadores sensíveis e precoces de mudanças na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) e de seus efeitos sobre atributos físicos e químicos, resultantes das diferentes formas de uso e manejo (Dalal, 1998).

O uso de adubos orgânicos tem impactos profundos na qualidade do solo, estimulando processos microbianos que ajudam a desenvolver e manter os agregados deste, bem como sua estrutura, contribuindo para sua resistência à degradação física (pela atividade microbiana do solo) (Tisdall & Oades, 1982; Glover et al., 2000) e afetando as transformações de seus nutrientes (Rice et al., 1996; Dalal, 1998).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é definida como o componente microbiano vivo composto por bactérias, fungos, microfauna e algas, sendo a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, fluxo de energia, transformação da MOS e imobilização temporária de nutrientes, incluindo o C (Wardle & Hungria, 1994; Feigl et al., 1998; Gama-Rodrigues, 1999).

A quantificação da BMS por meio de atributos como o teor de C e N nela contidos (CBM e NBM) e a determinação de sua atividade pela liberação do $C\text{-}CO_2$ (respiração basal) ou, ainda, a determinação de relações como o quociente metabólico (qCO_2), relações entre o CBM e o C orgânico total (COT) e entre o NBM e o N total (NT) do solo (relações CBM:COT e NBM:NT) têm sido usadas no estudo dos processos de ciclagem e transformação de nutrientes, bem como para aferir

atributos qualitativos da dinâmica da MOS (Dalal, 1998; Gama-Rodrigues, 1999; Anderson, 2003). Isso permite identificar possíveis padrões de qualidade do solo, considerando o importante papel desempenhado pela BMS nos agroecossistemas (Cattelan, 1989; Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999; Lal, 1999), além de indicar possíveis mudanças do manejo do solo.

Werner (1997) e Swezey et al. (1998) observaram que o CBM é mais sensível do que o NT e COT às mudanças ocasionadas pelo sistema orgânico, em relação ao sistema convencional de produção de maçãs. Na maioria dos estudos, o CBM e o NBM são maiores no sistema orgânico do que no sistema convencional (Gunapala & Scow, 1998; Glover et al., 2000; Goh et al., 2000, 2001). A respiração basal do solo e as relações CBM:COT e NBM:NT apresentam-se menos sensíveis às modificações ocasionadas pelo sistema orgânico (Swezey et al., 1998; Goh et al., 2000, 2001). Na região Sul do Brasil, Ribeiro (2003) verificou maiores teores de CBM e COT e maior relação CBM:COT em pomares de maçãs plantados no sistema orgânico em relação ao sistema convencional.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo estudar os efeitos dos sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs sobre a biomassa microbiana do solo, sua atividade e as relações com o C e o N do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Urupema, na Região Serrana de Santa Catarina, a uma altitude média de 1.425 m. O município apresenta clima mesotérmico úmido (Cfb), segundo a classificação de Köppen, com inverno e verão brandos, sendo as médias das temperaturas máximas e mínimas mensais para o período de estudo de outubro de 2002 a setembro de 2003 de 26,5 e 3,3 °C, respectivamente (Figura 1). O somatório anual da precipitação no período de estudo ficou em torno de 1.317 mm (Figura 1).

As áreas estudadas constituíram-se de pomares de maçãs sob os sistemas de produção convencional (PC) e orgânico (PO), com 11 anos de idade, com

filas alternadas dos cultivares Royal Gala e Fuji enxertados sobre o porta-enxerto M-7. Os pomares distam-se aproximadamente 1,5 km, apresentam arranjo, densidade e sistema de condução das plantas similares e estão localizados em posição similar de topografia, em um terreno suavemente ondulado, com freqüentes afloramentos de rochas. Ambos foram implantados em Cambissolos húmicos, com variações no teor de argila de 410 a 550 g kg⁻¹ e elevado conteúdo de MOS (Quadro 1).

Os pomares foram implantados em 1991, em áreas constituídas originalmente de campos nativos, com presença de *Araucaria angustifolia*. O pomar convencional foi implantado em área anteriormente utilizada para cultivo de batata. O pomar orgânico seguiu o manejo convencional durante oito anos, quando, então, foi convertido ao sistema orgânico de produção em 1999. Na implantação, foram empregados, nas áreas do pomar convencional e do pomar posteriormente convertido ao sistema orgânico, respectivamente, 2 e 13 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e

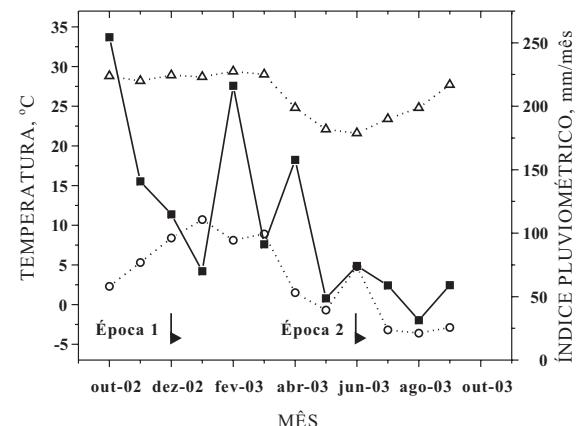


Figura 1. Temperatura máxima (Δ), mínima (o) e índice pluviométrico mensal (■) registrados na localidade de Cedro, município de Urupema-SC, no período de outubro de 2002 a setembro de 2003. As setas indicam os meses de coleta das amostras de solo.

Quadro 1. Caracterização química do solo, na profundidade de 0–10 cm, em pomares de maçãs nos sistemas de produção convencional e orgânico

Pomar	pH		P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	MO
	H ₂ O	SMP							
Convencional	6,2 ⁽¹⁾	6,8	13,0	203,3	12,6	7,8	0,1	0,0	69,0
Orgânico	5,6	5,8	8,5	117,3	9,4	5,4	0,2	0,1	77,0

⁽¹⁾ Os valores representam a média de 24 repetições.

85 e 300 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. Na área que posteriormente seria convertida ao sistema orgânico, foram ainda aplicados, na implantação e 30 dias após a primeira aplicação, 40 g de uréia ao redor de cada planta. Nessa área, nova calagem foi realizada cinco anos depois da implantação, utilizando-se 5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1 t ha⁻¹ de lama de cal.

No período de setembro/2002 a março/2003, foram adicionados ao PC 500 g/planta de adubo mineral fórmula 20–10–20, 13 kg/planta de esterco bovino e 200 g/planta de fosfato natural de Arad, além de aplicações de Ca, Zn, B e P. Foram feitas, no período, 35 aplicações de fungicidas e cinco de inseticidas.

O manejo do PO no período de execução do trabalho incluiu poda leve de inverno e raleio manual de frutos, roçada total da área em outubro e na projeção da copa em janeiro, adubação pós-colheita utilizando-se 9 kg/planta de esterco de cavalo (com base em análise de solo), 90 g/planta de fosfato natural de Arad e 186 g/planta de sulfato de K, sendo aplicados 70 % dessa adubação no período de março a abril e 30 % em agosto. Segundo as normas de produção orgânica de alimentos, foram feitas ainda, no período, aplicações do composto supermagro e controle fitossanitário com calda bordaleza e sulfocálcica. Para os pomares convencional e orgânico, não foi utilizado herbicida no controle químico das invasoras, sendo permitido o crescimento da vegetação espontânea com manejo por meio de roçadas.

Em cada pomar foi definida uma grade de amostragem com 24 pontos. Cada ponto correspondeu a macieiras do cultivar Royal Gala, distribuídas em quatro linhas de plantio, cada linha com seis plantas, sendo elas distantes entre si 18 m e as plantas, 9 m, perfazendo uma área amostrada de 2.430 m² (45 x 54 m) em pomares com área total de aproximadamente 5 ha cada. Para análises microbianas (biomassa microbiana e respiração basal) e químicas foram coletadas 48 amostras de solo no raio de projeção das copas das plantas selecionadas, sendo 24 plantas em cada pomar, na profundidade de 0–10 cm. Cada amostra de solo foi composta de três subamostras, coletadas e homogeneizadas no local de coleta. As coletas foram realizadas em duas épocas: dezembro de 2002 (verão) e junho de 2003 (inverno). No momento de cada coleta foram determinados os valores de temperatura e umidade gravimétrica do solo, na profundidade de 0–10 cm, em cada ponto de amostragem. Quanto à temperatura do solo, foram realizadas leituras utilizando-se de um geotermômetro portátil com coluna de mercúrio.

As análises químicas foram realizadas nas mesmas amostras de solos coletadas na primeira e na segunda amostragem. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas em caixas de isopor com gelo para o laboratório de Microbiologia do Solo, no CAV/ UDESC, em Lages-SC, onde foram mantidas em geladeira a 2 °C durante dois dias. As amostras coletadas foram peneiradas em malha de 2 mm, sendo

parte destas secas ao ar, para determinação do C orgânico total (COT), pH em água, pH SMP e teores de P, K, Al, Na, Ca e Mg trocáveis, conforme Tedesco et al. (1995) (Quadro 1).

Na determinação do CBM das amostras de solo foi utilizado o método de fumigação-extracção (Vance et al., 1987). Para cada ponto amostrado foram realizadas três repetições laboratoriais. Após a fumigação com clorofórmio livre de etanol (CHCl₃), o CBM foi extraído com K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹ e oxidado pelo K₂Cr₂O₇ 66,7 mmol L⁻¹, sendo o teor de C determinado por titulação com Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ 6H₂O 33,3 mmol L⁻¹, na presença do indicador difenilamina (1 %). O CBM foi calculado multiplicando-se a diferença entre o C extraído do solo fumigado e o não-fumigado pelo fator 2,64. O NBM foi determinado utilizando-se as alíquotas extraídas pelo método da fumigação-extracção para análise do CBM. O N contido no extrato foi determinado por pré-digestão e destilação, conforme o método Kjeldahl, sendo o destilado titulado com H₂SO₄ 25 mmol L⁻¹ (Brookes et al., 1985).

A atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal (C-CO₂) em 100 g de amostras de solo, segundo Jäggi (1976). Estas foram colocadas em frascos de 500 mL e incubadas em laboratório pelo período de 48 h, à temperatura de 28 °C.

A partir dos resultados de CBM e COT e de NBM e NT, foram calculadas as relações CBM:COT e NBM:NT, expressas como a percentagem de C e N microbiano em relação ao C e N total do solo (Anderson, 1994). Aplicando os resultados de C-CO₂ e do CBM, calculou-se o quociente metabólico (*q*CO₂), que representa a quantidade de C-CO₂ liberada em um determinado tempo, por unidade de C microbiano.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o programa estatístico SAS, versão 6.12 (SAS, 1990), e as médias comparadas pelo teste LSD (*P* < 0,05). As correlações entre os atributos microbianos e químicos estudados foram determinadas por análise de correlação de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico total do solo (COT) e relação CBM:COT

Os sistemas estudados apresentaram, para o CBM, diferenças quanto a manejo e época de amostragem (*P* < 0,05). Os maiores teores de CBM foram observados no PO (637,71 e 686,92 mg kg⁻¹ de C no solo nas épocas 1 e 2, respectivamente), sendo 64,4 e 45,6 % superiores aos teores encontrados no PC (387,86 e 471,82 mg kg⁻¹ de C no solo), na primeira e na segunda época de amostragem, respectivamente (Quadro 2). Maiores teores de CBM em pomares de macieira no sistema orgânico, em comparação com pomares

convencionais, também foram observados nos EUA (Swesey et al., 1998) e no Brasil, no Estado do Rio Grande do Sul (Ribeiro, 2003). Nesse Estado, os incrementos encontrados no CBM do sistema orgânico chegaram a 186,9 %, na profundidade de 0–10 cm, após seis anos de implantação do sistema, enquanto a média do incremento do pomar orgânico nos EUA, na mesma profundidade de solo, ficou em torno de 30 % após três anos de cultivo orgânico.

Sistemas de manejo orgânico permitem maior aporte de material orgânico ao solo, principalmente em suas camadas mais superficiais. Esse maior aporte tende a favorecer o incremento do teor de C orgânico do solo (COT) (Quadro 2), o qual serve como fonte de nutrientes para manutenção da atividade metabólica das comunidades microbianas do solo (Cattelan, 1989; Wardle & Hungria, 1994; Altieri, 1999; Moreira & Siqueira, 2002; Ormond et al., 2002). Nuernberg et al. (1984), testando adubações orgânica, organomineral e mineral em diferentes sucessões de culturas, constataram alterações na estrutura da comunidade microbiana do solo. Os autores verificaram aumento da população de fungos nas áreas que receberam adubações orgânica e organomineral e aumento de bactérias e actinomicetos nas que receberam adubação mineral.

Quando da aplicação da análise de correlação de Pearson (dados não apresentados), atributos como o CBM e o pH correlacionaram-se negativamente ($r = -0,70$, $P < 0,05$), demonstrando diminuição do CBM com o aumento do pH do solo. O solo no PO apresentou os maiores teores de CBM e o menor valor médio de pH (5,6) em relação ao PC (6,6) (Quadro 1). Contudo, a menor acidez e ausência de Al trocável no solo do PC não foram suficientes para promover maior crescimento da biomassa microbiana. Desse modo, as faixas de pH encontradas no PO favorecem, juntamente com outros fatores particulares ao manejo orgânico (MO do solo, ausência de agrotóxicos, entre outros), o crescimento da biomassa microbiana nessa área, comparativamente ao PC.

Outro fator que pode estar contribuindo para as diferenças no teor de CBM entre PC e PO refere-se à qualidade do material orgânico, que é determinada, entre outros aspectos, pela composição botânica e pelo tipo de resíduo depositado no solo. Em estudo realizado no período de julho/2002 a julho/2003, com avaliações quinzenais das áreas, Boff et al. (2003) relatam a ocorrência de maior diversidade botânica no PO, comparativamente ao PC. Os autores verificaram que, apesar da proximidade das áreas e similaridade do manejo da vegetação espontânea, o PO apresentou, em todas as estações amostradas, maior número de espécies e famílias. Dentre as famílias com maior número de espécies encontradas na área de PO, destaca-se a Poaceae, constituída por gramíneas de crescimento robusto, com sistema radicular abundante e produção de óleos e compostos aromáticos (Boff et al., 2003).

Efeitos da composição botânica no aumento da biomassa microbiana foram verificados por Werner (1997) e Goh et al. (2000) em pomares orgânicos de maçãs. Os autores constataram aumentos no teor de CBM em solos sob cultivo orgânico e integrado, em comparação ao sistema convencional, os quais foram atribuídos ao crescimento de plantas espontâneas (Werner, 1997) e ao aumento na disponibilidade de C orgânico às populações microbianas (Goh et al., 2000). Maiores valores de CBM também foram encontrados nas entrelinhas de pomares convencionais, onde se permitia o crescimento da vegetação espontânea (Werner, 1997). A adoção de cobertura vegetal nas linhas e entrelinhas de sistemas de produção de maçãs merece estudos adicionais, para que se estabeleçam de forma clara seus efeitos na biomassa microbiana do solo.

Diferenças nos teores de CBM nas duas épocas de amostragem foram observadas apenas no PC (Quadro 2). Possivelmente, em culturas perenes, a oscilação da biomassa microbiana do solo seja menos sensível a variações ao longo do ano em relação a culturas anuais. Isso se explica pelo manejo menos intenso adotado em culturas perenes, comparativamente às culturas anuais, ocasionando menor estresse às comunidades microbianas pela menor oscilação de temperatura, umidade e aeração do solo. Esse fato também foi observado em sucessões que continham espécies forrageiras perenes e bianuais (Nuernberg et al., 1984). No entanto, o manejo pode influenciar o comportamento da biomassa microbiana, mesmo em solos com culturas perenes. Assim, quanto maior a perturbação aplicada a uma área, a exemplo das causadas por práticas de controle de pragas e doenças, tende a ser maior a oscilação de inúmeras características, entre elas as microbianas, mesmo em sistemas perenes, como o ocorrido na área do PC. Spain & van Veld (1983) e Bromilow et al. (1996) corroboram essa afirmação, em estudos que mostram que alguns inseticidas aplicados ao solo promovem redução do tamanho da biomassa microbiana, bem como alterações na composição de comunidades microbianas do solo.

Flutuações sazonais da biomassa microbiana ocorrem em razão de mudanças de temperatura, umidade e quantidade de substrato (Dalal, 1998). No caso do PC, observou-se aumento médio de 21,6 % do CBM na época 2 em relação à época 1 de amostragem. Para o PO, embora não-significativo estatisticamente, observou-se aumento de 7,7 % no CBM encontrado na época 2, em relação à época 1. No entanto, a variação do CBM ocorrida no PC, entre as épocas 1 e 2, não pode ser explicada com base nos dados disponíveis no estudo para a temperatura e umidade do solo (Figura 2). O possível aumento da quantidade de substrato, dado pela adição de material orgânico ao PC e PO na adubação de pós-colheita (abril-maio), pode responder em parte pela variação encontrada para o CBM no PC, na época 2 de amostragem. A adição de resíduos orgânicos raramente causa alteração

Quadro 2. Carbono da biomassa microbiana (CBM), carbono orgânico total do solo (COT) e relação CBM:COT; nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), nitrogênio total do solo (NT) e relação NBM: NT; e respiração basal (C-CO₂) e quociente metabólico (qCO₂) na profundidade de 0–10 cm de solo, em pomares de maçãs nos sistemas de produção convencional e orgânico. Dezembro de 2002 (época 1) e junho de 2003 (época 2)

Época	Pomar convencional	Pomar orgânico	Média
CBM, mg kg ⁻¹ de C na BM			
1	387,86bB	637,71aA	512,79b
2	471,82aB	686,92aA	579,37a
Média	429,84B	662,32A	546,08
CV (%)	22,78	22,97	
COT, g kg ⁻¹ de C no solo			
1	40,37aB	44,87aA	42,62a
2	39,96aB	43,43aA	41,70a
Média	40,17B	44,15A	42,16
CV (%)	9,87	10,60	
Relação CBM : COT, %			
1	0,96bB	1,42aA	1,19b
2	1,18aB	1,58aA	1,38a
Média	1,07B	1,50A	1,29
CV (%)	23,72	24,72	
NBM, mg kg ⁻¹ de N na BM			
1	44,87aB	64,37aA	54,62a
2	54,96aA	68,79aA	61,88a
Média	49,92B	66,58A	58,25
CV (%)	51,71	36,61	
NT, g kg ⁻¹ de N no solo			
1	3,43bB	4,39aA	3,91a
2	3,90aA	3,54bA	3,72a
Média	3,67B	3,97A	3,82
CV (%)	19,53	13,77	
Relação NBM : NT, %			
1	1,31aA	1,47bA	1,39b
2	1,41aB	1,94aA	1,68a
Média	1,36B	1,71A	1,54
CV (%)	42,50	38,89	
C-CO ₂ , mg kg ⁻¹ dia ⁻¹ de C-CO ₂ no solo			
1	8,68bA	9,67bA	9,18b
2	11,67aA	13,31aA	12,49a
Média	10,18A	11,49A	10,84
CV (%)	39,08	35,49	
qCO ₂ , µg mg ⁻¹ h ⁻¹ de C-CO ₂ na BM			
1	0,93aA	0,63bB	0,78b
2	1,03aA	0,81aB	0,92a
Média	0,98A	0,72B	0,85
CV (%)	45,78	36,75	

Médias seguidas da mesma letra, minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas, não diferem entre si pelo teste LSD ($P < 0,05$) ($n = 24$). Letras minúsculas compararam médias dispostas na vertical. Letras maiúsculas compararam médias dispostas na horizontal. CV = coeficiente de variação em relação à média.

significativa do teor de COT a curto e médio prazo, mas tende a elevar significativamente o CBM (Carter, 1986; Sparling, 1992).

A oscilação significativa encontrada nas épocas de amostragem para o CBM, no PC, reforça o efeito do manejo sobre a estabilidade do sistema. Para o PO, menores variações dos teores de CBM encontrados em períodos de verão e inverno sugerem maior estabilidade do sistema, quando comparado ao sistema convencional.

Semelhantemente ao encontrado para o CBM, os sistemas estudados apresentaram, para o COT, diferenças quanto ao manejo ($P < 0,05$). O PO apresentou os maiores teores nas duas épocas de coleta (44,87 e 43,43 g kg⁻¹ de C no solo, épocas 1 e 2). Estes teores foram 11,1 e 8,7 % superiores no PO em relação ao PC na primeira e segunda épocas de amostragem, respectivamente (Quadro 2). Não houve diferenças estatísticas nos teores de COT encontrados para as épocas de amostragem. Swezey et al. (1998) e Glover et al. (2000), ao estudarem sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs, após dois anos de conversão ao sistema orgânico na costa da Califórnia (EUA), e pomares de maçãs convencional, integrado e orgânico, no Estado de Washington (EUA), com três e quatro anos de implantação, respectivamente, não verificaram diferenças significativas no COT entre os sistemas estudados.

Usualmente, o CBM tem sido utilizado como um indicador mais sensível a mudanças no solo causadas pelas práticas de manejo do que a MO, apresentando alterações em decorrência da implantação dessas práticas de manejo muito antes de elas serem observadas no teor de MOS (Carter, 1986; Sparling, 1992). O COT representa uma característica química mais estável e de menor flutuação ao longo dos anos (épocas), o que explica a ausência de variação nos seus teores observada entre as épocas dos sistemas

estudados. No entanto, os maiores teores de CBM nos solos do PO indicam incrementos nos teores de COT deste sistema (Powlson & Jenkinson, 1981).

Os menores teores de COT encontrados no PC em relação ao PO podem ser explicados pela menor quantidade de resíduos orgânicos depositados no solo no sistema convencional, quando comparado ao sistema orgânico, bem como pela adoção de práticas mais intensas de cultivo do solo (incorporação de adubos, aplicações de pesticidas e outros), que resultam na aceleração do processo de decomposição do material orgânico do solo (Kimpe & Warkentin, 1998; Dalal, 1998; Marchiori Junior & Melo, 1999, 2000).

Os sistemas estudados apresentaram, para a relação CBM:COT, diferenças quanto a manejo e épocas de amostragem ($P < 0,05$). O manejo empregado no PO propiciou maior relação entre o CBM e o COT do solo, nas duas épocas amostradas (Quadro 2). Diferenças significativas entre as épocas de amostragem foram encontradas somente no PC, onde se observou maior relação CBM:COT na época mais fria e seca (Quadro 2). As maiores relações CBM:COT encontradas no PO demonstram maior eficiência das comunidades microbianas na área em utilizar o C da MO mineralizável, imobilizando-o em sua biomassa.

Sparling (1992) sugere que a relação CBM:COT possa ser um indicador mais sensível de mudanças na dinâmica da MO de solos submetidos a diferentes práticas de manejo. Segundo Goh et al. (2000), a relação CBM:COT é indicador sensível da qualidade do solo em sistemas de produção de maçãs na Nova Zelândia. Em seu estudo, os autores relatam que o C microbiano representou 2,35 % do COT em pomares orgânicos com oito anos de conversão ao sistema, valor este maior do que os encontrados nos pomares convencional (1,72 %) e integrado (1,84 %). Contudo, Swezey et al. (1998) e Glover et al. (2000) não encontraram diferenças significativas entre as relações CBM:COT em pomares orgânicos, convencional e integrado nos EUA.

Fatores como tipo de solo, manejo empregado, época de amostragem e métodos de análise podem influenciar a variação dos valores obtidos para a relação CBM:COT (Balota et al., 1998). Anderson (2003) sugere similaridade na relação CBM:COT de solos agrícolas e de florestas em um pH neutro, variando o C microbiano entre 2,0 e 4,4 % do C orgânico total, dependendo da condição nutricional e de manejo do solo. Brookes et al. (1984) e Insam et al. (1989) reportam relações de 1,8 a 2,25 % para sistemas de monocultivo anual e 1,8 a 2,1 % para sistemas de monocultivo permanente, respectivamente.

Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), nitrogênio total do solo (NT) e relação NBM:NT

Os teores médios de NBM encontrados variaram entre 44,87 e 54,96 mg kg⁻¹ de N no solo no PC e entre

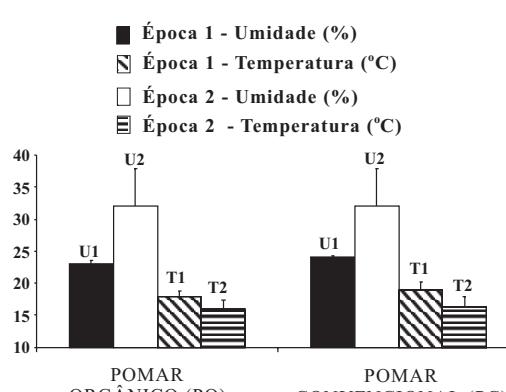


Figura 2. Umidade e temperatura do solo medidas no momento da coleta em pomares de maçãs nos sistemas de produção convencional e orgânico. Barras representam o erro-padrão ($n = 24$).

64,37 e 68,79 mg kg⁻¹ de N no PO, nas épocas 1 e 2 de amostragem, respectivamente (Quadro 2). Efeito significativo da época foi encontrado somente no PO, onde o teor de NBM na época 2 foi superior ao da época 1. Não houve diferenças estatísticas para o NBM entre os sistemas de manejo, em ambas as épocas estudadas.

Glover et al. (2000), em estudo realizado em Washington (EUA), encontraram, na profundidade de 0-7,5 cm, maiores teores de NBM em pomares de maçãs nos sistemas integrado (76 mg kg⁻¹ de N) e orgânico (72 mg kg⁻¹ de N), em relação a pomares plantados no sistema convencional (61 mg kg⁻¹ de N). Goh et al. (2000, 2001), na Nova Zelândia, encontraram valores médios de NBM de 184, 107 e 85 mg kg⁻¹ de N no solo em pomares de maçãs estabelecidos nos sistemas de produção orgânico, integrado e convencional, respectivamente.

O aumento da biomassa microbiana do solo permite o armazenamento de nutrientes em sua biomassa (Swezey et al., 1998), representando um reservatório lável desses nutrientes (Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999), diminuindo-lhe as perdas nos sistemas agrícolas. Isso é de especial importância para nutrientes como o N, que passa por transformações intensas (mineralização, nitrificação e desnitrificação) no ambiente, sendo facilmente perdido quando predominam as formas solúveis (Ernani, 2003).

Semelhantemente ao observado para o NBM, diferenças estatísticas foram verificadas para o NT entre as épocas de amostragem, no sistema PC. Os valores de NT variaram de 3,43 a 4,39 g kg⁻¹ de N no solo. O PC apresentou maior teor de NT na segunda época de amostragem, sendo este valor maior do que o encontrado no PO no mesmo período (3,90 e 3,54 g kg⁻¹ de N para PC e PO, respectivamente (Quadro 2). O PO, ao contrário, apresentou os maiores teores de NT na época 1 de amostragem (Quadro 2).

Na tentativa de avaliar a qualidade do solo em pomares de maçãs convencional, orgânico e integrado no Estado de Washington (EUA), Glover et al. (2000) não constataram diferenças significativas nos teores de NT dos solos nos diferentes manejos. Resultados semelhantes foram observados por Werner (1997) em pomares de maçãs convencionais e em conversão ao sistema orgânico, em Santa Cruz (EUA). Efeito significativo do manejo orgânico no cultivo de maçãs sobre o incremento no conteúdo de NT, quando comparado aos sistemas convencional e integrado, foi verificado por Goh et al. (2000) na Nova Zelândia. Segundo esses autores, o aumento do NT no sistema orgânico deveu-se ao crescimento mais intenso da vegetação espontânea na área, provocado pela interrupção do uso de herbicidas e pela menor freqüência de capina, o que, juntamente com a adubação orgânica, promoveu incremento no conteúdo de MOS.

Os valores de NBM correlacionaram-se positivamente com os valores de NT ($r=0,64$; $P<0,05$) e CBM ($r=0,63$; $P<0,05$). Não houve correlação do

NBM com o teor de C do solo, confirmando estudos realizados por outros autores, que mostram sua maior relação com a disponibilidade de N no solo do que com a disponibilidade de C (Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999).

Efeito significativo de manejo foi encontrado para a relação NBM:NT somente na época 2 de amostragem, quando ela foi 37,6 % maior no PO (Quadro 2). Diferenças significativas entre épocas de amostragem foram observadas apenas no sistema orgânico. O aumento verificado na época 2 resultou da redução significativa do teor de NT, e não do aumento do NBM (Quadro 2). A relação NBM:NT, representada em percentagem, foi de 1,31 e 1,41 % no PC e de 1,47 e 1,94 % no PO, nas épocas 1 e 2, respectivamente (Quadro 2).

Glover et al. (2000) encontraram igual capacidade de reserva do NT na biomassa microbiana (relação NBM:NT), em áreas de pomares convencional, orgânico e integrado. Pequena variação sazonal dentro dos pomares pode ser atribuída à grande variabilidade da relação NBM:NT dentro das áreas amostradas, expressa pelo seu elevado coeficiente de variação (Quadro 2).

A maior relação NBM:NT representa maior capacidade da microbiota do solo em imobilizar o N disponível em sua biomassa, representando uma fração lável deste nutriente para as plantas (Wardle & Hungria, 1994; Gama-Rodrigues, 1999; De-Polli & Guerra, 1999; Goh et al., 2000). Segundo Goh et al. (2000), em pomares de maçãs, a relação NBM:NT foi melhor indicador de mudanças na MO lável do solo do que a relação CBM:COT. No presente estudo, ao contrário, houve maior sensibilidade da relação CBM:COT em aferir mudanças significativas entre tratamentos e épocas de amostragem, os quais aparentemente diferiram quanto à dinâmica da MOS.

Respiração basal (C-CO₂) e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

Efeito significativo de manejo foi encontrado nas duas épocas de amostragem, quando as taxas encontradas de respiração basal na época 2 foram superiores às da época 1, para PC e PO (Quadro 2). Não houve diferenças estatísticas na respiração basal entre os sistemas convencional e orgânico, nas duas épocas estudadas.

Esses resultados são corroborados por Goh et al. (2001), em estudos realizados em pomares de maçãs da Nova Zelândia sob os sistemas convencional, orgânico (pomares com oito anos de sistema) e integrado. Os autores reportam que não foram encontradas diferenças significativas da taxa de respiração entre a maioria das áreas estudadas. No referido estudo, entretanto, foram verificadas maiores taxas de respiração basal em um único pomar orgânico. Os autores atribuíram esse resultado à menor utilização de pesticidas na área orgânica, bem como à diferença de solo entre os diferentes pomares orgânicos.

Valores encontrados em literatura para respiração basal em pomares sob manejo convencional, orgânico e integrado são bastante variáveis. No Estado da Califórnia (EUA), Swezey et al. (1998) encontraram aumentos nos teores de respiração basal, na profundidade de 0–10 cm, após três anos de conversão ao sistema de produção orgânico de maçãs, em relação ao convencional.

Alterações ambientais que incluem distúrbios e mudanças no uso do solo afetam as comunidades microbianas dos solos, podendo ser detectadas por meio de mudanças na atividade dessas comunidades. Essas medidas de detecção são baseadas no desempenho fisiológico dessas comunidades, como a respiração basal, normalmente utilizada como indicador da atividade microbiana de aeróbios e anaeróbios do solo, medida em termos metabólicos, por meio da quantidade de C-CO₂ liberada (Anderson, 2003).

Vargas & Scholles (2000) verificaram efeitos de métodos de preparo, em interação com a profundidade do solo, sobre a produção de C-CO₂. Áreas sob plantio direto apresentaram os maiores valores de respiração basal, seguidas das submetidas ao preparo reduzido e ao cultivo convencional. França (2004) também observou aumento da respiração basal do solo em sistema de produção orgânico de citros.

Neste estudo, entretanto, a respiração basal não aferiu mudanças significativas entre os sistemas de produção de maçãs estudados, o que talvez se deva ao fato de o sistema convencional aqui avaliado receber, também, adição de material orgânico e não somente adubação mineral, ou, ainda, à recente conversão do PO ao sistema orgânico.

Maiores valores de respiração basal encontrados na segunda época de amostragem podem indicar um potencial de perda líquida de C no segundo período (Swezey et al., 1998), em razão do aumento da taxa de decomposição do material orgânico adicionado na adubação de pós-colheita (abril/maio), favorecida por altas temperatura e umidade, incomuns para o período.

Mais sensível à variação de manejo e usualmente utilizado como indicador ecofisiológico das mudanças na comunidade microbiana do solo, o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) representa a relação entre as quantidades de CO₂ produzidas por unidade de C da biomassa microbiana, por unidade de tempo (Anderson & Domsch, 1993; Anderson, 2003). Houve diferenças ($P < 0,05$) para o efeito de épocas de amostragem apenas no pomar orgânico, onde o $q\text{CO}_2$ foi maior na época 2. O tipo de manejo influenciou o quociente metabólico nas duas épocas de amostragem. Os maiores valores de $q\text{CO}_2$ foram encontrados no PC; os valores encontrados no PO foram cerca de 32,2 e 21,3 % inferiores aos observados no PC nas épocas 1 e 2, respectivamente (Quadro 2).

Aumentos no $q\text{CO}_2$ normalmente são observados em sistemas menos conservacionistas de produção.

Balota et al. (1998), em estudos realizados sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas, observaram valores de $q\text{CO}_2$ até 28 % menores em áreas de plantio direto do que naquelas com plantio convencional. Todavia, Werner (1997) e Swezey et al. (1998) não encontraram diferenças no $q\text{CO}_2$ entre pomares de maçãs nos sistemas de produção convencional e orgânico, possivelmente como resultado do curto período da prática de manejo orgânico (dois e três anos de conversão, respectivamente), o que não permitiu, segundo os autores, quantificar diferenças entre as áreas estudadas.

Os valores mais baixos de $q\text{CO}_2$ observados neste estudo refletem uma menor condição de estresse da biomassa microbiana do solo no sistema orgânico. Isso resulta em maior eficiência de utilização do C orgânico mineralizável, havendo maior incorporação de C orgânico nos tecidos microbianos, e redução das perdas de C sob a forma de CO₂ para a atmosfera (Anderson, 2003). Os resultados indicam que as populações microbianas do solo no PO têm menor necessidade energética para sua manutenção, enquanto no PC elas se encontram em condições de maior estresse.

A diminuição da relação entre a respiração total dos microrganismos e a sua biomassa no solo, encontrada no PO, mostra que a transição de um sistema de uso de solo mais intensivo, como o convencional, para uma prática reconhecida como mais sustentável de manejo do solo (sistemas orgânicos), mesmo em curto prazo, leva a uma provável sucessão ecológica no ecossistema (Odum, 1969), em busca de uma nova condição de equilíbrio do solo.

CONCLUSÕES

1. O sistema orgânico de produção de maçãs propicia aumento nos teores de CBM, NBM, NT e COT, em relação ao sistema de produção convencional.

2. O sistema orgânico de produção de maçãs propicia aumento das relações CBM:COT e NBM:NT e da eficiência de utilização do C orgânico pela população microbiana do solo, comparativamente ao sistema de produção convencional.

3. O sistema orgânico de produção de maçãs promove maior reserva de COT e NT, comparado ao sistema de produção convencional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, CNPq, FINEP e FAPESC, pelo financiamento deste projeto; aos proprietários das áreas, por permitirem seu uso na realização deste trabalho; ao Engenheiro-Agrônomo Samuel Ribeiro Figueiredo, pelo auxílio durante a realização das análises laboratoriais.

LITERATURA CITADA

- ALTIERI, M.A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 74:19-31, 1999.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO_2 ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 25:393-395, 1993.
- ANDERSON, T.H. Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations. In: RITZ, K.D. & GILLER, K.E., eds. *Beyond the biomass*. London, British Society of Soil Science, 1994. p.67-76.
- ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 98:285-293, 2003.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua sustentabilidade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:641-649, 1998.
- BOFF, I.C.B.; FLEIG, F.D.; NUERNBERG, C.S.; FENILI, R.; HEBERLE, E.; VENDRESEN, R. & REDIVO, S.M. Biodiversidade em pomares de maçã realizados sob o manejo agroecológico e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1., SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE AGROECOLOGIA, 4., SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE AGROECOLOGIA, 5., Porto Alegre, 2003. Resumos expandidos. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2003. p.1-4.
- BROMILOW, R.H.; EVANS, A.A.; NICHOLLS, P.H.; TODD, A.D. & BRIGGS, G.G. The effects on soil fertility of repeated applications of pesticides over 20 years. *Pestic. Sci.*, 48:63-72, 1996.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 16:169-175, 1984.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 17:837-842, 1985.
- CAMARGO, A.M.; MOURA, B.R.; LIMA, E.; CASTELETTI, L.C.; WILDNER, M. & CHAUDHRY, Z. De volta às origens. *R. Bras. Agropec.*, 10:1-55, 2001.
- CARTER, M.R. Microbial biomass and mineralisable nitrogen in Solonetzic soils: Influence of gypsum and lime amendments. *Soil Biol. Biochem.*, 18:531-537, 1986.
- CATTELAN, A.J. Sistemas de culturas e os microorganismos do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 150p. (Tese de Mestrado)
- CHABOUESSOU, F. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: A teoria da tirofobiose. 2.ed. Porto Alegre, L & PM, 1987. 256p.
- DALAL, R.C. Soil microbial biomass – What do the numbers really mean? *Aust. J. Exp. Agric.*, 38:649-665, 1998.
- DE-POLLI, H. & GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.389-411.
- ERNANI, P.R. Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira. Lages, 2003. 76p.
- FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. & BERNOUX, M. Balanço de carbono e biomassa microbiana em solos da Amazônia In: MELO, I.S. & AZEVEDO, J.L., eds. *Ecologia microbiana*. Jaguariúna, Embrapa-CNPMA, 1998. p.423-441.
- FRANÇA, S.C. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares nos manejos convencional e orgânico de citros e suas interações com *Phytophthora parasitica*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. 106p. (Tese de Doutorado)
- GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.227-244.
- 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. Ecosyst. Environ.*, 80:29-45, 2000.
- GOH, K.M.; BRUCE, G.E.; DALY, M.J. & FRAMPTON, C.M.A. Sensitive indicators of soil organic matter sustainability in orchard floors of organic, conventional and integrated apple orchards in New Zealand. *Biol. Agric. Hortic.*, 17:197-205, 2000.
- GOH, K.M.; PEARSON, D.R. & DALY, M.J. Effects of apple orchard production systems on some important soil physical, chemical and biological quality parameters. *Biol. Agric. Hortic.*, 28:269-292, 2001.
- GUNAPALA, N. & SCOW, K.M. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biol. Biochem.*, 30:805-826, 1998.
- INSAM, H.; PARKINSON, D. & DOMSCH, K.H. The influence of macroclimate on soil microbial biomass levels. *Soil Biol. Biochem.*, 21:211-221, 1989.
- JÄGGI, W. Die Bestimmung der CO_2 -Biulding als Maá der bonbodenbiologischen Aktivität. *Schweiz Landwirtschaft Forchung Band*, 15, 314:317-380, 1976.
- KIMPE, C.R. & WARKENTIN, B.P. Soil functions and the future of natural resources. In: BLUME, H.P.; EGER, H.; FLEISHHAUER, E.; HEBEL, A.; REIJ, C. & STEINER, K.G., eds. *Towards sustainable land use-Furthering cooperation between people and institutions*. *Adv. Geocol.*, 31:3-10, 1998.
- LAL, R. Métodos para a avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p.
- MARCHIORI-JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:257-263, 1999.

- MARCHIORI-JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1177-1182, 2000.
- MEURER, E.J.; BISSANI, C.A. & SELBACH, P.A. Poluentes do solo e do ambiente. In: MEURER, E.J., ed. *Fundamentos de química do solo*. Porto Alegre, Genesis, 2000. p.151-167.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.
- NUERNBERG, N.J.; VIDOR, C. & STAMMEL, J.G. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação na densidade populacional e atividade microbiana do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:197-203, 1984.
- ODUM, E.P. The strategy of ecosystem development. *Science*, 64:262-270, 1969.
- ORMOND, J.G.P.; LIMA DE PAULA, S.R.; FAVERET FILHO, P. & ROCHA, L.T. *Agricultura orgânica: Quando o passado é futuro*. Rio de Janeiro, BNDES, 2002. 34p.
- POWLSON, D.S & JENKINSON, D.S. A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralisable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. *J. Agric. Sci.*, 97:713-721, 1981.
- REGANOLD, J.P.; GLOVER, J.D. & ANDREWS, P.K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 80:29-45, 2000.
- RIBEIRO, G.M. Características químicas, físicas e biológicas do solo em pomares de macieiras conduzidos nos sistemas orgânico e convencional de produção. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2003. 56p. (Tese de Mestrado)
- RICE, C.W.; MOORMAN, T.B. & BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.203-215. (Special Publication, 49)
- SAS. INSTITUTE. *SAS User's guide: Estatistics*. 6.ed. Cary, 1990.
- SPAIN, J.C. & van VELD, P.A. Adaptation of natural microbial communities to degradation of xenobiotic compounds: Effects of concentration, exposure time, inoculum, and chemical structure. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45:428-535, 1983.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicador of changes in soil organic matter. *Aust. J. Res.*, 30:195-207, 1992.
- SWEZEY, S.L.; WERNER, M.R.; BUCHANAN, M. & ALLISON, J. Comparison of conventional and organic apple production systems during three years of conversion to organic management in coastal California. *Am. J. Alter. Agric.*, 13:162-180, 1998.
- TAGLIARI, P.S. Agricultores familiares produzem a maçã agroecológica. *Agropec. Catarinense*, 14:26-31, 2001.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.*, 38:141-163, 1982.
- VANCE, E.D.; BROOKS, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- VARGAS, L.K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:35-42, 2000.
- WERNER, M.R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard. *Appl. Soil Ecol.*, 5:151-167, 1997.
- WARDLE, D.A. & HUNGRIA, M.A. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAÚJO, R.S. & HUNGRIA, M., eds. *Microorganismos de importância agrícola*. Brasília, Embrapa-SPI, 1994. p.193-216.