



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Venzke Filho, Solismar de Paiva; Feigl, Brigitte Josefine; Piccolo, Marisa de Cássia; Siqueira Neto, Marcos; Cerri, Carlos Clemente
BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DE CAMPOS
GERAIS - TIBAGI, PR
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 2, 2008, pp. 599-610
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214228015>

- 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

BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA REGIÃO DE CAMPOS GERAIS - TIBAGI, PR⁽¹⁾

Solismar de Paiva Venzke Filho⁽²⁾, Brigitte Josefine Feigl⁽³⁾, Marisa de Cássia Piccolo⁽³⁾, Marcos Siqueira Neto⁽⁴⁾ & Carlos Clemente Cerri⁽⁵⁾

RESUMO

As diferentes práticas agrícolas realizam controles distintos na dinâmica do C e N microbiano. Com o objetivo de elucidar a dinâmica do C e N microbianos em solos sob sistema plantio direto (SPD), foram avaliados – nas seqüências milho/trigo/soja e soja/trigo/soja cultivadas em solos com diferentes classes texturais – áreas e tempos de adoção do sistema na Fazenda Santa Branca, Tibagi, PR. O experimento foi instalado em quatro áreas, sendo três delas com histórico de 12 anos sob SPD, com as seguintes classes texturais: muito argilosa (PD12-TmuA); argilosa (PD12-TA) e média (PD12-TmeA); e uma com histórico de 22 anos sob SPD com classe textural argilosa (PD22-TA). No período de 18 meses foram realizadas nove amostragens de solo em quatro camadas (0–2,5; 2,5–5; 5–10; 10–20 cm). Em função do tempo de adoção do SPD, ocorreram diferenças no C microbiano entre a PD12-TA e a PD22-TA nas camadas mais profundas do solo. A PD22-TA apresentou em média 30,8 kg ha⁻¹ de N_{mic} a mais que a PD12-TA e menores variações nas quantidades de N microbiano na camada de 0–20 cm. No que se refere à textura do solo, a PD12-TmuA apresentou as maiores médias de C e N microbianos na camada de 0–20 cm, exceto nos 20 dias após o plantio do trigo (jun./01). A PD12-TA e a PD12-TmeA não apresentaram diferenças significativas nas quantidades de C microbiano em qualquer dos meses analisados, na camada de 0–5 cm. Entretanto, foram encontradas diferenças quanto a esta última propriedade nas camadas de 5–10 e 10–20 cm. Os resultados indicam que o tempo de adoção do sistema plantio

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Recebido para publicação em agosto de 2003 e aprovado em novembro de 2007.

⁽²⁾ Doutor em Microbiologia Agrícola pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Caixa Postal 09, Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: spvenzke@uol.com.br

⁽³⁾ Professora Doutora do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Universidade de São Paulo – CENA/USP. Av. Centenário 303, CEP 13400-970 Piracicaba (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: beduardo@cena.usp.br

⁽⁴⁾ Doutor em Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP. E-mail: msqueir@cena.usp.br

⁽⁵⁾ Professor Titular do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, CENA/USP. Bolsista do CNPq. E-mail: cerri@cena.usp.br

direto e o aumento dos teores de argila do solo favorecem os aumentos de C e N microbianos.

Termos de indexação: textura do solo, seqüência de cultura, imobilização do nitrogênio, matéria orgânica.

SUMMARY: SOIL MICROBIAL BIOMASS IN NO-TILLAGE SYSTEM IN THE CAMPOS GERAIS REGION – TIBAGI, PR (BRAZIL)

Different agricultural practices accomplish distinct controls on microbial C and N dynamics. The dynamics of microbial C and N in soils under no-tillage system (NT) were evaluated in the crop sequences corn/wheat/soybean and soybean/wheat/soybean in soils with different texture, areas and periods under NT at the “Santa Branca” farm, Tibagi, Paraná State, Brazil (50 ° 23 ' W, 24 ° 36 ' N). The experiment was installed at four sites, three of which had been NT cultivated in the previous 12 years, with the following textures: clay (PD12-TmuA); sandy-clay (PD12-TmeA), and sandy-clay-loam (PD12-TA); and one site 22 years under NT with texture class sandy-clay-loam (PD22-TA). During an 18 months period soils were sampled nine times in four layers (0–2.5; 2.5–5; 5–10 and 10–20 cm). Microbial C was different in PD12-TA and PD22-TA in the deepest soil layers, due to the time of NT implantation. The microbial N level in the PD22-TA averaged 30.8 kg ha⁻¹ higher than in PD12-TA, while the variations in microbial N in the 0–20 cm layer were smaller. No significant differences were observed in the amounts of microbial C and N among the crop sequences. Regarding soil texture, the averages of microbial C and N in the 0–20 cm layer were higher for PD12-TmuA, except 20 days after wheat sowing (Jun/01). Contrasting to the 5–10 and 10–20 cm layers, in PD12-TA and PD12-TmeA the differences between microbial C levels were not significant in the 0–5 cm layer. Our results indicate that the amount of microbial C and N is favored by long-term NT and the clayey soil texture.

Index terms: soil texture; crop sequence; nitrogen immobilization; organic matter.

INTRODUÇÃO

Sistemas de cultivo com menor perturbação do solo, como o plantio direto (SPD), tendem ao aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS) com o tempo de adoção (Staley et al., 1988; Havlin et al., 1990; Cambardella & Elliot, 1992; Rhoton, 2000; Sá, et al., 2001) e, conseqüentemente, da biomassa microbiana do solo (BMS) (Staley et al., 1988; Beare et al., 1994; Balota et al., 1998; Valpassos et al., 2001), que, estando mais protegida, é afetada em menor intensidade pela temperatura e precipitação (Blevins et al., 1977; Wardle, 1998).

Os microrganismos que compõem a BMS possuem função catalítica sobre a MOS. Em decorrência disso, a BMS é a chave que controla os processos de mineralização-imobilização dos nutrientes na MOS. Por essa razão, ela é um dos principais componentes dos modelos de ciclagem de nutrientes (Paul, 1984; van Veen et al., 1985) e, potencialmente, um dos indicadores de recomendação de fertilizantes industrializados, sobretudo os nitrogenados (Sparling & Ross, 1993). Entretanto, não está claro se a quantidade de BMS pode fornecer uma dimensão da

mineralização da MOS, como sugerido por Parkinson & Paul (1982). Resultados obtidos por Puri & Ashman (1998) mostram que somente uma parte da BMS está ativa e envolvida com a mineralização do N.

A quantidade e a composição da BMS são influenciadas por diversos fatores, entre os quais o sistema de cultivo, a rotação de culturas e a textura do solo. A rotação de culturas é uma das características essenciais do SPD; o seu uso é recomendado por aumentar a estabilidade dos agregados do solo (Bruce et al., 1992; Amézqueta, 1999), além de disponibilizar mais C ao solo quando é cultivada uma gramínea ou de fixar N₂ atmosférico quando é cultivada uma leguminosa. Esses efeitos possuem a capacidade de influenciar a disponibilidade de nutrientes para a cultura subsequente (Amado et al., 1998). A influência de determinada planta sobre a BMS pode ser direta, como no caso do efeito seletivo da rizosfera (Neal et al., 1973), ou indireta, por meio da diversificação das fontes de C nos resíduos culturais, que podem ser mais ou menos suscetíveis à decomposição enzimática pelos microrganismos (Herman et al., 1977; Rahn & Lillywhite, 2001). A maioria dos produtores da região Sul do Brasil adota

na rotação a seqüência de culturas: milho ou soja no verão e aveia ou trigo no inverno. Contudo, a literatura não conta com muitos estudos que abordam o efeito dessas seqüências de culturas na BMS em solo sob SPD.

Os usos de práticas conservacionistas destacam-se por recuperar gradativamente o teor de C total do solo, o que reflete no aumento do tamanho dos agregados, ou seja, promove o incremento da proteção física da MOS (Six et al., 1999). Maior proteção física da MOS foi comprovada em solos com textura argilosa, em comparação com os de textura arenosa, resultando em maiores teores de C e de BMS (Jenkinson, 1988; Amato & Ladd, 1992; Hassink, 1994). No entanto, a ciclagem da MOS e a atividade microbiana tendem a ser menores em solos mais argilosos do que em arenosos (Ladd et al., 1993; Juma, 1993; Sakamoto & Hodono, 2000).

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência do tempo de adoção do sistema plantio direto, da seqüência de culturas e da textura do solo sobre a dinâmica dos teores de C e N microbianos.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda Santa Branca (24 ° 36 ' S e 50 ° 23 ' W), município de Tibagi (PR). A fazenda encontra-se na transição entre dois materiais de origem: o folhelho de formação Ponta Grossa, que possui textura muito argilosa, e o arenito de formação Furnas, de textura média (Sá, 2001b). Os solos da fazenda são classificados como Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa e argilosa relevo suave ondulado (LVd1), e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico textura média relevo suave ondulado (LVAd1) (Sá, 2001b; Carvalho et al., 2002).

O clima é subtropical úmido, mesotérmico, do tipo cfb (classificação de Köppen), com verões frescos, geadas severas e freqüentes no inverno, com temperatura média no mês mais quente (janeiro) inferior a 22 °C e, no mês mais frio (julho), em torno de 18 °C. A precipitação pluvial média anual é de 1.700 mm, sem estação seca definida (IAPAR, 1994).

As áreas da Fazenda Santa Branca incluídas no experimento começaram a ser exploradas no sistema de plantio convencional (uma aração e duas gradagens) em 1969. No primeiro ano de cultivo, a acidez foi corrigida com calcário dolomítico (PRNT 85 %), e a deficiência de P, com 117 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (52 kg de P). Durante três anos foi cultivado arroz de sequeiro. Em seguida foi introduzido o binômio soja-trigo (soja no verão e trigo no inverno), mantido por sete anos. Em 1979, parte da fazenda (20 a 30 %) foi convertida para o SPD (Figura 1), incluindo a área atualmente com 22 anos sob SPD.

De 1979 a 2001 foram cultivados 16 ciclos de soja e seis de milho no verão e sete ciclos de trigo no inverno, intercaladas com 12 de aveia-preta e dois de tremoço como cobertura verde. O SPD foi expandido para áreas contíguas em 1989, incluindo os tratamentos com 12 anos de SPD. A área recebeu desde então sete ciclos de soja e cinco de milho no verão e cinco ciclos de trigo e seis de aveia-preta no inverno.

Foram analisadas quatro áreas com as seguintes características: três áreas há 12 anos sob SPD, diferindo pela classe textural (textura média, 27 % argila = PD12-TmeA; textura argilosa, 40 % argila = PD12-TA; e textura muito argilosa, 72 % argila = PD12-TmuA), e uma há 22 anos sob SPD com textura argilosa, 42 % argila (PD22-TA). Cada área com 14.000 m² foi subdividida para avaliação de duas seqüências de culturas: seqüências A = milho/trigo/soja e B = soja/trigo/soja.

O experimento foi instalado em 23 de setembro de 2000 nas áreas PD12-TmuA, PD12-TA e PD22-TA; no mês seguinte foi instalada a área PD12-TmeA. Na ocasião, todas as áreas encontravam-se com restos culturais de aveia-preta. No período de 18 meses foram realizadas nove amostragens de solo (Quadro 1).

O delineamento experimental foi em faixas com arranjo em parcelas subdivididas de forma não-aleatória, com cinco repetições. Cada faixa foi delimitada com estacas, subdividida em 10 subáreas (35 x 40 m). A seqüência A foi estudada em cinco subáreas, e a B, nas outras cinco.

Em cada subárea foram coletadas cinco amostras nas profundidades de 0–2,5; 2,5–5; 5–10; e 10–20 cm, formando uma amostra composta (repetição),

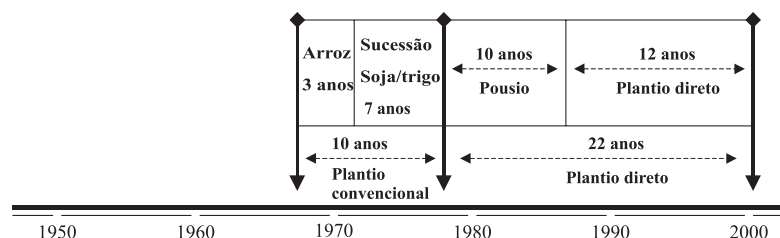


Figura 1. Representação gráfica do histórico da ocupação agrícola das terras pertencentes à Fazenda Santa Branca, com destaque para as áreas de estudo.

Quadro 1. Época de coleta e situação do solo, tratos culturais e tempo decorrido até a realização da coleta nos tratamentos estudados

Época	Resíduo/cultura	Trato cultural e data de ocorrência	Tempo decorrido até a coleta na seqüência A	Tempo decorrido até a coleta na seqüência B
Set./00	Resíduos de aveia-preta/sem cultura	Herbicida (glifosate) + inseticida Plantio do milho (Cargil 909) e adubação NPK (400 kg ha ⁻¹ 20-00-10)	... 27/09/00	Anterior
Out./00	Resíduos de aveia-preta/milho em fase vegetativa	Adubação cobertura no milho (200 kg ha ⁻¹ sulfato de amônia) Herbicida + inseticida Plantio da soja (Embrapa 59) e adubação PK (200 kg ha ⁻¹ super simples e 150 kg ha ⁻¹ KCl)	15/10/00 24/10/00 25/10/00	15 dias após plantio
Nov./00	Resíduos de aveia-preta/milho e soja em fase vegetativa	---	...	1 mês após adubação do milho
Fev./01	Resíduos de aveia-preta/milho e soja fase de maturcimento	Colheita do milho Colheita da soja	10/03/01 11/04/01	20 dias após plantio da soja
Maio/01	Resíduos de milho ou de soja/sem cultura	Aplicação de herbicida + inseticida	...	Anterior à colheita
Jun./01	Resíduos de milho ou de soja/trigo em fase vegetativa	Plantio do trigo e adubação NPK Adubação de cobertura NPK	04/06/00 07/07/00	Anterior à aplicação
Ago./01	Resíduos de milho ou de soja/trigo em fase reprodutiva	Aplicação de herbicida + inseticida	...	20 dias após plantio do trigo
Out./01	Resíduos de trigo/sem cultura	Colheita do trigo Aplicação de herbicida e inseticida Plantio da soja e adubação PK	23/10/01 ... 10/11/01	50 dias após adubação
Fev./02	Resíduos de trigo/soja fase de maturcimento	---	...	1 dia após colheita
				90 dias após plantio da soja

---: sem ocorrências; . . .: data desconhecida; nc: não coletado.

totalizando cinco amostras por tratamento em cada uma das profundidades.

Foram determinados os teores de C e N totais e o pH do solo. O pH foi determinado em KCl a 1 mol L⁻¹ na proporção solo:solução de 1:2,5 (Raij et al., 1987). O C e N totais do solo foram determinados por combustão a seco em auto-analisador LECO CN-2000 em amostras secas ao ar, moídas e peneiradas a 100 mesh (abertura de 0,149 mm). A densidade foi determinada pelo método do anel volumétrico, descrito por Blake & Hartge (1986).

O C microbiano foi determinado em 25 g de amostra do solo úmido, conforme o método de fumigação-extração proposto por Brookes et al. (1985) e Vance et al. (1987), com o fator de correção $k_{EC} = 0,33$ (Sparling & West, 1988). No mesmo extrato foi determinado o N microbiano pelo método dos compostos reativos à ninidrina (Joergensen & Brookes, 1990), com fator de conversão $k_{EN} = 6,5$ (Sparling et al., 1993).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, segundo o esquema fatorial 2 x 2 x 4 ou 3 x 2 x 4, considerando os dois tempos de adoção ou as três classes texturais, as seqüências de culturas e as profundidades como fatores principal, secundário e terciário, respectivamente. Para isso, utilizou-se o

procedimento GLM do programa de análise estatística SAS (SAS, 1987). A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teores de carbono e introgênio totais, pH e densidade do solo das áreas estudadas

Os teores de C e N totais apresentaram maiores valores em solo muito argiloso nas camadas estudadas. A área PD12-TmuA apresentou o dobro dos teores de C e N totais na camada de 0-20 cm, comparada à PD12-TA, e 2,6 e 2,3 vezes mais, respectivamente, do que a PD12-TmeA (Quadro 2). A PD12-TA apresentou 57 e 64 % de decréscimo nos teores de C e N totais no perfil analisado, contra 45 e 48 % da PD12-TmeA, e 28 e 34 % da PD12-TmuA. Já em relação ao tempo de adoção do SPD, a PD22-TA apresentou 1,4 e 1,3 vez mais teores de C e N totais do que a PD12-TA na camada de 0-20 cm. As duas áreas apresentaram decréscimos de C e N totais no perfil do solo semelhantes, uma vez que a PD22-TA apresentou 55 e 63 %, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por outros autores (Staley et

al., 1988; Cambardella & Elliot, 1992; Sá et al., 2001) no que diz respeito aos teores de argila do solo e ao tempo de adoção do SPD.

A PD12-TmuA apresentou o menor $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ nas camadas de 0–2,5 e 2,5–5,0 cm: 4,4 e 4,2, respectivamente. Por ter maior teor de argila (72 %), essa área está mais propícia a apresentar menor pH, devido basicamente às cargas elétricas negativas nas superfícies das argilas. De modo geral, a acidez do solo favorece os fungos em relação às bactérias, embora algumas bactérias autotróficas oxidantes de S e Fe tolerem pH menor que 1,0, como mencionado por Moreira & Siqueira (2002). Em geral, as áreas apresentaram valores de $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ próximos entre si nas camadas. A maior diferença de pH ocorreu nas áreas PD12-TmuA, PD12-TA e PD22-TA, que foi de 0,8 na camada de 0–2,5 cm (Quadro 2).

Dentre as áreas há 12 anos sob SPD com diferentes texturas, a mais argilosa (PD12-TmuA) mostrou densidade do solo 27 % menor na camada de 0–20 cm

que a PD12-TmeA e 25 % da PD12-TA (Quadro 2). Esses resultados estão dentro do esperado porque nos solos com textura argilosa as possibilidades de arranjo das partículas são maiores do que naqueles de textura arenosa, que possuem maior espaço poroso total (Reichardt & Timm, 2004). Em solos com texturas similares, os teores de MOS podem influenciar a densidade (O'Sullivan, 1992; Arvidsson, 1998), como foi observado na comparação das áreas PD12-TA e PD22-TA, em que a primeira é 9 % mais densa do que a segunda.

Carbono e nitrogênio microbianos em função do tempo de adoção do SPD

O efeito dos tratamentos não foi significativo na análise de variância pelo teste F para teores de C e N microbianos em alguns meses nas seqüências de culturas, tempo de adoção do SPD e para a interação seqüência de culturas *versus* tempo de adoção (Quadros 3 e 4).

Quadro 2. Algumas características químicas e físicas do solo após 12 e 22 anos de sistema plantio direto em três diferentes classes texturais

Profundidade	PD12 TmeA ⁽¹⁾	PD12 TA	PD12 TmuA	PD22 TA
cm	g kg ⁻¹			
	C total			
0–2,5	18,8 ± 1,5 ²	27,6 ± 2,6	38,8 ± 0,9	36,9 ± 3,1
2,5–5	14,3 ± 0,9	19,0 ± 1,3	35,4 ± 0,5	27,1 ± 2,0
5–10	10,0 ± 0,2	14,2 ± 1,5	30,6 ± 1,1	18,5 ± 1,4
10–20	10,4 ± 1,9	11,9 ± 1,3	28,1 ± 0,5	16,6 ± 1,5
0–20	11,9 ± 1,3	15,3 ± 1,5	30,9 ± 0,7	20,9 ± 1,8
	N total			
0–2,5	1,47 ± 0,14 ⁽²⁾	2,00 ± 0,45	2,73 ± 0,44	2,67 ± 0,67
2,5–5	1,11 ± 0,10	1,38 ± 0,14	2,32 ± 0,19	1,87 ± 0,52
5–10	0,77 ± 0,10	0,95 ± 0,19	1,84 ± 0,29	1,10 ± 0,29
10–20	0,76 ± 0,13	0,72 ± 0,18	1,80 ± 0,20	0,99 ± 0,46
0–20	0,89 ± 0,12	1,02 ± 0,21	1,99 ± 0,25	1,34 ± 0,45
	pH (KCl)			
0–2,5	4,9 ± 0,23 ⁽³⁾	5,2 ± 0,15	4,4 ± 0,06	5,2 ± 0,10
2,5–5	4,7 ± 0,21	5,0 ± 0,10	4,2 ± 0,12	5,1 ± 0,12
5–10	4,6 ± 0,23	4,9 ± 0,06	4,3 ± 0,17	5,0 ± 0,10
10–20	4,1 ± 0,10	4,3 ± 0,06	4,3 ± 0,15	4,5 ± 0,06
	Densidade			
	Mg m ⁻³			
0–2,5	1,28 ± 0,03 ⁽⁴⁾	1,24 ± 0,05	1,10 ± 0,03	1,16 ± 0,03
2,5–5	1,42 ± 0,04	1,40 ± 0,05	1,15 ± 0,02	1,36 ± 0,03
5–10	1,55 ± 0,01	1,44 ± 0,03	1,03 ± 0,03	1,35 ± 0,03
10–20	1,47 ± 0,02	1,45 ± 0,01	1,02 ± 0,02	1,27 ± 0,03
0–20	1,46 ± 0,01	1,42 ± 0,02	1,06 ± 0,01	1,29 ± 0,02

⁽¹⁾ PD12 e PD22: áreas com 12 e 22 anos sob sistema plantio direto, respectivamente; TA: solo com textura argilosa; TmuA: solo com textura muito argilosa; TmeA: solo com textura média argilosa. ⁽²⁾ Média de três épocas de amostragem (set./00; maio/01 e out./00) com três repetições mais desvio-padrão. ⁽³⁾ Média de três repetições mais desvio-padrão. ⁽⁴⁾ Média de seis repetições mais desvio-padrão.

Quadro 3. Conteúdos de nitrogênio e carbono microbianos em função do tempo de adoção do sistema plantio direto (12 e 22 anos) em solo de textura argilosa (TA) sob duas seqüências de cultura (A e B)

Profundidade	PD12-TA			PD22-TA			PD12-TA			PD22-TA		
	A ⁽¹⁾	B ⁽¹⁾	m ⁽²⁾	A	B	m	A	B	m	A	B	m
cm	C _{mic} , kg ha ⁻¹						N _{mic} , kg ha ⁻¹					
Setembro 2000												
0–2,5	-	-	136 A	-	-	127 A	-	-	48 A	-	-	38 A
2,5–5	-	-	90 B	-	-	189 A	-	-	33 A	-	-	37 A
5–10	-	-	159 B	-	-	240 A	-	-	45 A	-	-	35 A
10–20	-	-	214 B	-	-	364 A	-	-	53 A	-	-	31 A
CV 29 %						CV 35 %						
Outubro 2000												
0–2,5	128	nd ⁽³⁾	128 A	240	nd	240 A	41	nd	41 A	45	nd	45 A
2,5–5	128	nd	128 A	228	nd	228 A	18	nd	18 B	34	nd	34 A
5–10	188	nd	188 B	369	nd	369 A	17	nd	17 B	33	nd	33 A
10–20	290	nd	290 B	620	nd	620 A	15	nd	15 B	47	nd	47 A
CV 40 %						CV 32 %						
Novembro 2000												
0–2,5	152 a ⁽⁴⁾	168 a	160 ^{ns}	184	158	171	31 ^{ns}	46	39 A	34 ^{ns}	50	42 A
2,5–5	150 a	122 a	136	178	134	156	22	30	26 A	28	37	33 A
5–10	289 a	195 b	242	257	194	226	35	31	33 A	33	34	34 A
10–20	518 a	351 b	435	476	406	441	30	45	37 B	66	70	68 A
CV 21 %						CV 40 %						CV 36 %
Fevereiro 2001												
0–2,5	96 ^{ns}	78	87 A	129 ^{ns}	121	125 A	17 ^{ns}	18	18 ^{ns}	33 ^{ns}	35	34
2,5–5	89	88	89 B	199	169	184 A	16	16	16	34	34	34
5–10	122	106	114 B	304	230	267 A	21	23	22	42	31	36
10–20	220	148	184 B	382	395	389 A	22	28	25	57	63	60
CV 35 %						CV 48 %						
Maio 2001												
0–2,5	120 ^{ns}	132	126 A	139 ^{ns}	156	147 A	36 ^{ns}	41	38 ^{ns}	31 ^{ns}	30	31
2,5–5	83	116	100 A	117	158	137 A	33	30	32	25	25	25
5–10	137	128	132 B	215	214	214 A	37	40	38	17	31	24
10–20	235	226	231 B	487	486	487 A	81	58	70	31	38	34
CV 42 %						CV 52 %						
Junho 2001												
0–2,5	210 ^{ns}	216	213 A	192 ^{ns}	157	175 A	38 ^{ns}	43	41 ^{ns}	37 ^{ns}	35	36
2,5–5	160	185	173 A	147	129	134 A	28	32	30	35	34	35
5–10	236	291	264 A	215	194	205 A	16	26	21	32	29	30
10–20	465	467	466 A	349	219	284 B	38	43	40	63	43	53
CV 40 %						CV 30 %						
Agosto 2001												
0–2,5	171 ^{ns}	165	168 ^{ns}	198 ^{ns}	254	168	30 a	36 a	33 ^{ns}	55 ^{ns}	50	53
2,5–5	134	139	137	176	159	168	14 a	25 a	19	37	36	37
5–10	151	238	197	281	196	239	16 a	17 a	17	36	32	34
10–20	301	359	330	359	328	343	55 a	25 b	40	43	41	42
CV 37 %						CV 52 %						
Outubro 2001												
0–2,5	150	129	139 B	202	285	244 A	30 ^{ns}	37	34 ^{ns}	50 ^{ns}	42	46
2,5–5	121	120	120 B	226	274	250 A	22	29	25	46	36	41
5–10	209	186	197 B	402	439	421 A	18	23	21	44	32	38
10–20	355	465	410 B	577	841	709 A	31	31	31	43	53	48
CV 33 %						CV 38 %						
Fevereiro 2002												
0–2,5	71 ^{ns}	88	79 A	102 ^{ns}	80	91 A	24 ^{ns}	25	25 ^{ns}	33 ^{ns}	36	34
2,5–5	73	65	69 A	83	66	75 A	20	23	22	28	28	28
5–10	73	114	94 A	101	88	95 A	20	21	21	33	32	33
10–20	120	126	123 B	263	203	233 A	25	28	26	47	41	44
CV 50 %						CV 28 %						

⁽¹⁾ Seqüências de culturas: A: milho/trigo/soja e B: soja/trigo/soja. ⁽²⁾ m: média das seqüências de culturas A e B (n: 10). ⁽³⁾ nd: não determinado. ⁽⁴⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula para sucessões e maiúscula para tempo de adoção na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %: ns: análise de variância não-significativa pelo teste F a 5 %.

Quadro 4. Efeito da textura nos conteúdos de carbono e nitrogênio microbianos nas diferentes épocas em solo com 12 anos de sistema plantio direto, em duas seqüências de culturas (A e B)

Profundidade	PD12-TmeA ⁽¹⁾			PD12-TA			PD12-TmuA			PD12-TmeA			PD12-TA			PD12-TmuA				
	A ⁽²⁾	B	m ⁽³⁾	A	B	m	A	B	m	A	B	m	A	B	m	A	B	m		
	C _{mic} kg ha ⁻¹									N _{mic} kg ha ⁻¹										
	Outubro 2000																			
0–2,5	160	nd ⁽⁴⁾	160 A ⁽⁵⁾	128	nd	128 A	185	nd	185 A	23	nd	23 B	41	nd	41AB	52	nd	52 A		
2,5–5	165	nd	165AB	128	nd	128 B	221	nd	221 A	18	nd	18 A	18	nd	18 A	20	nd	20 A		
5–10	213	nd	213 B	188	nd	188 B	330	nd	330 A	21	nd	21 A	17	nd	17 A	35	nd	35 A		
10–20	443	nd	443 B	290	nd	290 C	631	nd	631 A	49	nd	49 B	15	nd	15 C	78	nd	78 A		
	CV 23 %									CV 49 %										
	Novembro 2000																			
0–2,5	89 a	126 a	108 B	152 a	168 a	160AB	148 a	207 a	177 A	20 ^{ns}	26	23 B	31 ^{ns}	46	39 A	18 a	33 a	26 A		
2,5–5	105 a	92 a	99 B	150 a	122 a	136AB	148 a	209 a	178 A	16	18	17 B	22	30	26 A	18 a	27 a	23AB		
5–10	223 a	181 a	202 B	289 a	195 b	242AB	250 a	303 a	277 A	16	31	24 B	35	31	33 A	36 a	30 a	33 A		
10–20	381 a	228 b	305 C	518 a	351 b	435 B	549 a	450 b	500 A	40	51	46 B	30	45	37 B	74 a	53 b	64 A		
	CV 40 %			CV 24 %			CV 21 %			CV 28 %						CV 26 %			CV 31 %	
	Fevereiro 2001																			
0–2,5	107 ^{ns}	112	110 A	96 ^{ns}	78	87 A	127 ^{ns}	105	116 A	23 ^{ns}	25	24 A	17 ^{ns}	18	18 B	15 ^{ns}	14	15 B		
2,5–5	113	99	106AB	89	88	89 B	165	108	137 A	15	22	19 A	16	16	16 A	15	16	16 A		
5–10	214	173	193 A	122	106	114 B	147	171	159 A	29	28	29AB	21	23	22 B	32	36	34 A		
10–20	384	374	379 A	220	148	184 C	322	357	340 A	42	54	48 B	22	28	25 C	69	58	64 A		
	CV 27 %									CV 29 %										
	Maio 2001																			
0–2,5	87 ^{ns}	89	88 B	120 ^{ns}	132	126AB	166 a	165 a	166 A	27 ^{ns}	19	23 ^{ns}	36 ^{ns}	41	38	15 ^{ns}	17	16		
2,5–5	76	75	76 B	83	116	100 B	183 a	115 a	149 A	20	12	16	33	30	32	15	11	13		
5–10	125	94	110 B	137	128	132 B	270 a	227 a	248 A	22	19	21	37	40	38	21	23	22		
10–20	169	136	153 C	235	226	231 B	511 a	376 b	444 A	55	26	40	81	58	70	47	38	43		
	CV 21 %						CV 29 %													
	Junho 2001																			
0–2,5	163 a	163 a	163 ^{ns}	210 ^{ns}	216	213	108 ^{ns}	141	125	28 ^{ns}	31	30 B	38 ^{ns}	43	41 A	21 ^{ns}	24	23 B		
2,5–5	188 a	167 a	177	160	185	173	114	140	127	23	18	20 A	28	32	30 A	20	23	21 A		
5–10	284 a	268 a	276	236	291	264	181	215	198	29	22	26 B	16	26	21 B	39	42	41 A		
10–20	578 a	417 b	497	465	467	466	358	338	348	32	48	40 B	38	43	40 B	79	73	76 A		
	CV 20 %															CV 31 %				
	Agosto 2001																			
0–2,5	210 ^{ns}	212	211 AB	171 ^{ns}	165	168 B ⁽⁶⁾	301 ^{ns}	259	280 A	42 ^{ns}	51	46 ^{ns}	30 a	36 a	33	42 ^{ns}	49	45		
2,5–5	142	174	158 AB	134	139	136 B	254	215	234 A	28	35	32	14 a	25 a	19	29	39	34		
5–10	315	269	292 B	151	238	195 C	430	335	383 A	41	26	34	16 a	17 a	17	36	45	41		
10–20	449	506	477 B	301	359	330 C	711	639	675 A	60	51	55	55 a	25 b	40	62	76	69		
	CV 33 %									CV 52 %										
	Outubro 2001																			
0–2,5	74 ^{ns}	91	83 ^{ns}	150 ^{ns}	129	139	129 ^{ns}	177	153	28 ^{ns}	30	29 A	30 ^{ns}	37	34 A	24 ^{ns}	32	28 A		
2,5–5	69	105	87	121	120	121	137	157	147	17	18	18 B	22	29	25AB	26	25	26 A		
5–10	59	173	166	209	186	197	204	324	264	14	21	17 B	18	23	21 B	39	42	40 A		
10–20	239	282	260	355	465	410	353	464	409	31	27	29 B	31	31	31 B	73	71	72 A		
	CV 31 %																			
	Fevereiro 2002																			
0–2,5	nd	nd		71 ^{ns}	88	79 B	157 ^{ns}	169	163 A	nd	nd		24 ^{ns}	25	25 A	16 ^{ns}	23	20 A		
2,5–5	nd	nd		73	65	69 B	150	118	134 A	nd	nd		20	23	21 A	16	21	18 A		
5–10	nd	nd		73	114	94 B	250	178	213 A	nd	nd		20	21	21 A	22	22	22 A		
10–20	nd	nd		120	126	123 B	403	287	345 A	nd	nd		25	28	26 B	41	49	45 A		
	CV 30 %									CV 44 %										

⁽¹⁾ PD12: áreas com 12 anos de sistema plantio direto; TA: solo com textura argilosa; TmuA: solo com textura muito argilosa; TmeA: solo com textura média argilosa. ⁽²⁾ A: seqüência de cultura aveia-preta /milho/trigo/soja e B: aveia-preta/soja/trigo/soja. ⁽³⁾ m: média das seqüências de cultura A e B. ⁽⁴⁾ nd: não determinado. ⁽⁵⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula para sucessões e maiúscula para tempo de adoção e classe textural na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ns: análise de variância não-significativa pelo teste F a 5 %.

No início do experimento (set./00) foram encontrados cerca de 320 kg ha⁻¹ de C_{mic} a mais na área PD22-TA do que na PD12-TA, na camada de 0–20 cm (Quadro 3). Durante o período analisado a área há mais tempo sob SPD (PD22-TA) manteve a tendência de permanecer com a biomassa microbiana maior (Figura 3b), exceto nas épocas após plantio de milho e soja (nov./00) e do trigo (jun./01) (Quadro 1), provavelmente devido ao efeito da adubação de base e da cobertura que foram feitas 20 dias antes das coletas

de solo. É sabido que os fertilizantes minerais provocam alterações na BMS – em geral, com o aumento desta (Sneh Goyal et al., 1992). Aliado ao efeito dos fertilizantes, as chuvas (nov./00 e maio/01) e as temperaturas elevadas (nov./00) (Figura 2) podem ter contribuído para o desvio da tendência. Carvalho (1997) verificou em Latossolo Vermelho distrófico, na região de Carambeí, PR, que as precipitações pluviais e temperaturas influenciaram o conteúdo de C microbiano e a atividade microbiana no solo.

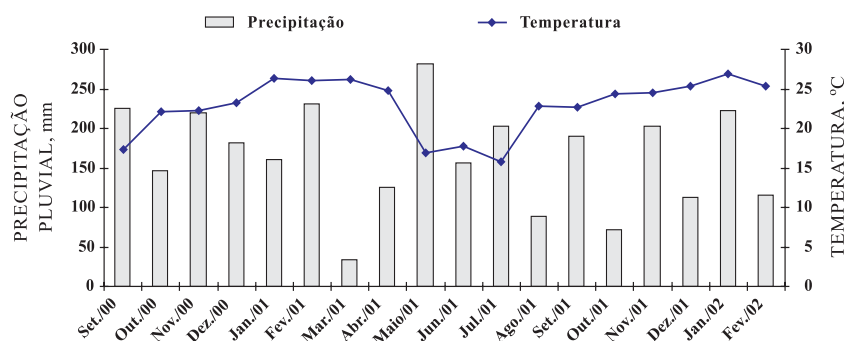


Figura 2. Temperatura média e precipitação pluvial mensal de setembro de 2000 a fevereiro de 2002 no município de Tibagi, Paraná. Fonte: Cooperativa Batavo e Fundação ABC.

De maneira geral, a seqüência de culturas não teve efeito significativo sobre a quantidade de BMS, avaliada por meio do conteúdo de C microbiano (Quadro 4), provavelmente pelo fato de as áreas terem sido cultivadas há mais de 10 anos com as culturas de milho, soja e trigo; com isso, a comunidade microbiana do solo adaptou-se à influência dessas culturas. Assim, as mudanças na quantidade, que possam ter ocorrido, não foram detectadas pelos métodos quantitativos de massa empregados para determinar a BMS. Outros autores também não encontraram diferença significativa de C microbiano (Cattelan et al., 1997; Balota et al., 1998) e N microbiano (Omay et al., 1997; Souza & Melo, 2000) em solo sob rotação de culturas no SPD. Souza & Melo (2000) constataram maior efeito da rotação de culturas no N potencialmente mineralizável do que na quantidade de N microbiano na cultura posterior. No trabalho de Omay et al. (1997), o C microbiano foi influenciado pela seqüência milho-milho em solo franco-arenoso, mas não pela seqüência milho-soja, e ambas as seqüências não influenciaram o N microbiano. Esses autores sugerem que o efeito da cultura na rotação é mais pronunciado na BMS que o efeito da rotação de culturas como um todo. Após o plantio de milho e da soja (nov./00), as quantidades de C microbiano nas camadas abaixo de 5 cm diferiram entre as áreas de seqüência A e B da PD12-TA. A causa provável foi a presença das raízes do milho em profundidade, enquanto a soja apresentava ainda pouco crescimento radicular aos 10 dias após a emergência. O mesmo não foi observado na PD22-TA, onde a provável existência de condições mais favoráveis à comunidade microbiana proporcionadas pelo tempo de adoção do SPD – como água, temperatura, substrato facilmente assimilável – diluiu esse efeito.

As maiores diferenças de C microbiano entre a PD12-TA e a PD22-TA ocorreram nas camadas de 5–10 e 10–20 cm. Isso se deve em parte às alterações na estrutura do solo quando se emprega o SPD (Beare et al., 1994; Six et al., 1999, 2002) e ao conseqüente aumento de C nas camadas mais profundas (Sá et al., 2001). A PD22-TA apresentou 30 e 40 % de acréscimo

de C nas camadas de 5–10 e 10–20 cm, em relação à PD12-TA. Diversos trabalhos relatam que o C microbiano está estreitamente relacionado com o C do solo e, mais ainda, com o C orgânico facilmente assimilável pela BMS (Lynch & Parting, 1980; Sparling, 1992).

Quando as áreas estavam com ausência de culturas e somente com resíduos das culturas anteriores (set./00 e maio/01), a PD22-TA apresentou menor quantidade de N microbiano do que o PD12-TA na camada de 0–20 cm (Figura 3d), ressaltando-se que em setembro esse efeito não foi estatisticamente significativo. Contudo, segundo Chen & Stark (2000), quando há alta disponibilidade de C e ampla relação C/N do substrato, aliado a fatores climáticos propícios à atividade microbiana, como nesse período, ocorre aumento de microssítios de imobilização de N. Nos meses seguintes, com a aplicação de fertilizantes e o sistema radicular ativo no solo, a PD22-TA apresentou em média 57 kg ha⁻¹ de N_{mic} a mais do que a PD12-TA. No total dos meses, a PD22-TA apresentou, em média, 30,8 kg ha⁻¹ de N_{mic} a mais que a PD12-TA. Esses resultados corroboram os encontrados por Sá (2001a), no qual o N microbiano aumentou com o tempo de adoção na camada de 0–5 cm de 63,8 kg ha⁻¹ de N_{mic} na área de 10 anos para 75,5 kg ha⁻¹ de N_{mic} nas de 20 anos de SPD.

No período analisado, a quantidade de N microbiano no PD22-TA variou entre 104 e 191 kg ha⁻¹ de N_{mic} e, na PD12-TA, entre 76 e 188 kg ha⁻¹ de N_{mic}, na camada de 0–20 cm. Portanto, constata-se que a área com 22 anos de SPD apresentou menor amplitude de variação do N microbiano. Esse fato pode ser decorrente de uma cadeia trófica mais complexa, que é encontrada em agroecossistemas mais estáveis (Wardle, 1995), o que resultaria em maior estabilidade na ciclagem do N.

Carbono e nitrogênio microbianos em solos de diferentes texturas

O efeito dos tratamentos não foi significativo na análise de variância pelo teste F para C e N microbianos

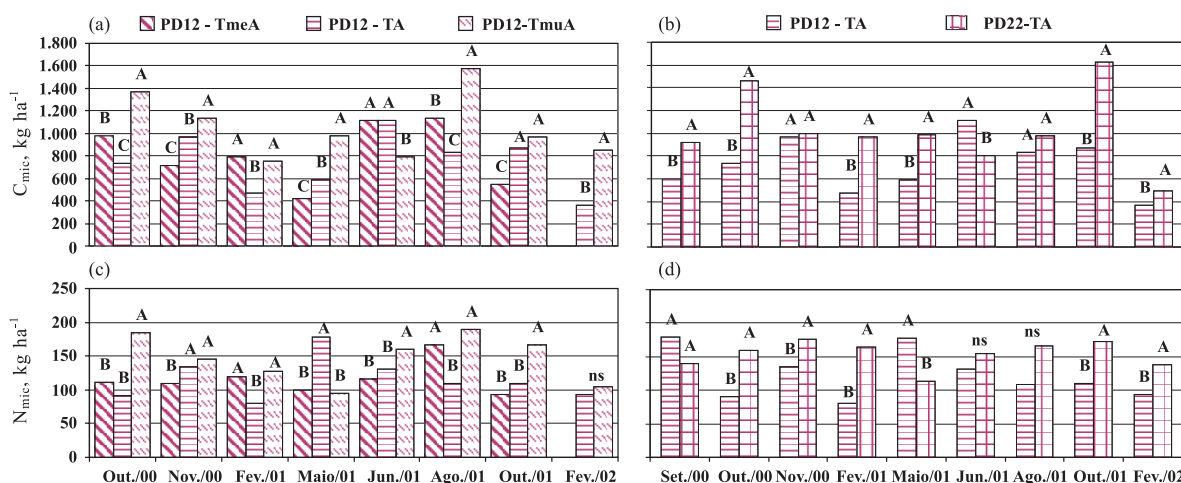


Figura 3. Teores de C e N em solos de diferentes classes texturais (a e c) sob 12 (PD12) e 22 (PD22) anos de adoção de sistema plantio direto (b e c) na camada de 0–20 cm. TA: solo com textura argilosa; TmuA: solo com textura média argilosa. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ns: análise de variância não-significativa pelo teste F a 5 %.

em alguns meses nas seqüências das culturas e na interação entre seqüência das culturas e textura (Quadro 4).

Após 15 dias do plantio do milho (out./00) e três dias da adubação nitrogenada deste, a PD12-TmuA apresentou 86 e 103 % mais C e N microbianos do que a PD12-TA e 39 e 66 % da PD12-TmeA na camada de 0–20 cm (Figura 3a). A PD12-TA (733 kg ha⁻¹ de C_{mic} e 91 kg ha⁻¹ de N_{mic}) não apresentou maior quantidade de C e N microbianos que a PD12-TmeA (981 kg ha⁻¹ de C_{mic} e 111 kg ha⁻¹ de N_{mic}), como se poderia esperar, por ter maior teor de argila. As maiores e significativas diferenças de C e N microbianos pró PD12-TmeA ocorreram na camada de 10–20 cm (Quadro 4). Decorridos 32 dias do plantio do milho (nov./00), a PD12-TA apresentou 973 kg ha⁻¹ de C_{mic} e 135 kg ha⁻¹ de N_{mic}, e a PD12-TmeA, 714 kg ha⁻¹ de C_{mic} e 109 kg ha⁻¹ de N_{mic}, na camada de 0–20 cm, respectivamente.

O efeito do sistema radicular do milho sobre o C microbiano na camada de 10–20 cm também se fez notar no mês de novembro de 2000 nas áreas de diferentes texturas. Esse efeito, porém, não foi observado do meio para o final do ciclo das culturas do milho e da soja. Em fevereiro, quando as culturas se encontravam na fase de maturação, o C microbiano foi semelhante nas sucessões A e B, mas diferente nas áreas estudadas. A PD12-TA apresentou 46 e 51 % a menos C microbiano que as áreas PD12-TmuA e PD12-TmeA, e 37 e 32 % menos N microbiano.

No intervalo entre uma cultura e outra (maio/01), quando a PD12-TmuA estava somente com os resíduos culturais, a seqüência A diferenciou estatisticamente quanto ao C microbiano da seqüência B na camada

de 10–20 cm (Quadro 4), provavelmente pelo fato de o efeito da decomposição do sistema radicular do milho nesta camada ser maior do que o da soja. O mesmo ocorreu nas demais áreas, mas sem significado estatístico.

Após o plantio do trigo (jun./01), a PD12-TmeA e PD12-TA apresentaram 40 % a mais de C microbiano que a PD12-TmuA, porém esta apresentou 28 e 18 % mais N microbiano que as áreas PD12-TmeA e PD12-TA. Essas diferenças ocorreram nas camadas de 5–10 e 10–20 cm. Dois fatores podem ter influenciado simultaneamente essas diferenças: alto teor de água no solo, decorrente de chuvas no mês de maio e junho de 2001, associado com adubação no plantio do trigo. Acidificação do solo pela adição de nutrientes minerais com diminuição de O₂ nas áreas pode ter mudado a composição da estrutura microbiana do solo, vindo refletir nas relações C e N microbianos na PD12-TmuA. Quanto maior o teor de argila no solo, menor será o tamanho dos poros, dificultando as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, beneficiando os microrganismos anaeróbios e aumentando a denitrificação nesse solo. Nesse mesmo sentido, Siqueira Neto (2003) verificou que o maior fluxo de N₂O ocorreu no mês de junho de 2001 nas áreas de PD12-TA e PD22-TA, corroborando os resultados citados.

Com a diminuição da precipitação pluvial e do aumento da temperatura ambiental no mês de agosto de 2001, associado com o crescimento pleno das plantas de trigo (estímulo rizosférico), a PD12-TmuA apresentou as maiores quantidades de C e N microbianos. As áreas apresentaram a seguinte seqüência de quantidade de C e N microbianos: PD12-TmuA > PD12-TmeA > PD12-TA, na camada de 0–20 cm.

Novamente, as diferenças entre as áreas também ocorreram nas camadas de 5–10 e 10–20 cm.

Na amostragem de outubro de 2001, as quantidades de C e N microbianos na camada de 0–20 cm diminuíram nas áreas PD12-TmuA e PD12-TmeA, em relação à amostragem anterior (ago./01), provavelmente em decorrência da falta do estímulo rizosférico, proporcionado pelos exsudados e excreções da planta de trigo. Nesse período de pequeno pousio, as potenciais fontes de nutrientes para a comunidade microbiana são a decomposição do sistema radicular e dos resíduos depositados na superfície do solo. A diferença na quantidade de N microbiano entre as áreas, observada nas camadas de 5–10 e 10–20 cm, indica que as raízes constituíam, naquele momento, a principal fonte de C no período pós-colheita.

Em fevereiro de 2002, com a cultura da soja no início da fase de maturação, a PD12-TmuA apresentou 856 kg ha⁻¹ de C_{mic}, e a PD12-TA, 365 kg ha⁻¹ de C_{mic}, na camada de 0–20 cm (Figura 3). Essa diferença de C microbiano ocorreu em todas as camadas analisadas. Entretanto, não houve diferença significativa de N microbiano nas camadas de 0–2,5, 2,5–5 e 5–10 cm.

No período de condução do experimento, a quantidade de C microbiano variou entre 425 e 1.138 kg ha⁻¹ de C_{mic} na PD12-TmeA, entre 365 e 1.115 kg ha⁻¹ de C_{mic} na PD12-TA e entre 752 e 1.572 kg ha⁻¹ de C_{mic} na PD12-TmuA, na camada de 0–20 cm (Figura 3). Esses resultados corroboram os obtidos por Merckx et al. (1985), Ladd (1992) e Hassink (1994), nos quais foi demonstrado que solo com textura argilosa apresenta maior teor de C microbiano que solo com textura arenosa. A PD12-TmuA mostrou os maiores valores de C microbiano em todas as profundidades estudadas, exceto na fase vegetativa do trigo (jun./01), em que a precipitação pluvial e a baixa temperatura, aliadas às características físicas do solo, foram as prováveis causas dessa diminuição, como relatado anteriormente.

A PD12-TA apresentou o C microbiano maior na camada de 0–20 cm que a PD12-TmeA nos meses em que não houve aplicação de fertilizantes (nov./00, maio/01 e out./01) e menor ou igual nos meses em que houve aplicação de fertilizantes (out./00 e jun./01). Por possuir maior teor de C e argila no solo, esperava-se que nas demais amostragens a quantidade de C microbiano também se apresentasse maior na PD12-TA. Entretanto, a diferença pró PD12-TmeA ocorreu nas profundidades abaixo de 5 cm.

O efeito da sequência de cultura nas diferentes texturas não foi observado sobre o N microbiano na grande maioria das épocas de amostragem. As quantidades de N microbiano variaram entre 93 e 167 kg ha⁻¹ de N_{mic} na PD12-TmeA, entre 80 e 180 kg ha⁻¹ de N_{mic} na PD12-TA e entre 94 e 189 kg ha⁻¹ de N_{mic} na PD12-TmuA, na camada de 0–20 cm (Figura 3). Em geral, a área PD12-TmuA apresentou as maiores quantidades de N microbiano na camada

de 0–20 cm, exceto no intervalo entre a colheita de milho e soja e a implantação da cultura de trigo (maio/01).

A correlação positiva entre o conteúdo de argila do solo e a BMS indica que há capacidade de proteção dos microrganismos maior em solos argilosos do que em arenosos (Ladd et al., 1992; Hassink, 1994). No presente trabalho, constatou-se que o solo com maior teor de argila (PD12-TmuA) apresentou maiores teores de C e N microbianos, porém os solos com texturas próximas (PD12-TA e PD12-TmeA) demonstraram semelhança nas quantidades de C e N microbianos na camada superficial (0–5 cm) (Quadro 4), mesmo com quantidades de C e N totais diferentes (Quadro 2). Isso indica que os solos sob SPD podem apresentar as mesmas quantidades de BMS em classes texturais diferentes na camada superficial, devido ao aumento da agregação das partículas proporcionado pelo emprego do SPD (Six et al., 1999).

CONCLUSÕES

1. O tempo de adoção do sistema plantio direto favorece os aumentos de quantidades de C e N microbianos na camada de 0–20 cm.

2. O aumento dos teores de argila do solo favorece o aumento nas quantidades de C e N microbianos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos srs. Lúcio Miranda, Milton Banisk, Paulo Sérgio, Eng.-Agrônomo Jorge Ferreira e demais funcionários da Fazenda Santa Branca, em Tibagi (PR), pelo apoio logístico na realização deste trabalho; à acadêmica de química Viviane Gonzalez (Unimep), pelo auxílio prestado nas análises de química; às sugestões do Eng.-Agrônomo Dr. Caio C. Passianoto; e o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo nº 2001/07168-7).

LITERATURA CITADA

- AMADO, T.J.C.; FERNANDEZ, S.B. & MIELNICZUK, J. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in Southern Brazil. *J. Soil Water Conser.*, 53:268-271, 1998.
- AMATO, M. & LADD, J.N. Decomposition of ¹⁴C-labelled glucose and legume material in soil: Properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 24:455-464, 1992.
- AMÉZKETA, E. Soil aggregate stability: A review. *J. Sust. Agric.*, 14:83-151, 1999.

- ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments. *Soil Till. Res.*, 49:159-170, 1998.
- BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:641-649, 1998.
- BEARE, M.H.; CABRERA, M.L.; HENDRIX, P.F. & COLEMAN, D.C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:787-795, 1994.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, America Society of America, 1986. Part 1. p.363-376. (Agronomy, 9)
- BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W. & CORNELIUS, P.L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil proportions affecter 5 years of continuous corn. *Agron. J.*, 69:383-386, 1977.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen. *Soil Biol. Biochem.*, 17:837-847, 1985.
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W. & DILLARD, A.L. Tillage and crop rotation effect on characteristic of a sandy surface soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1744-1747, 1992.
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:777-783, 1992.
- CARVALHO, A.P.; FASOLO, P.J.; BOGNOLA, I.A.; POTTER, R.O.; BHERING, S.B. & MARTORANO, L.G. Caracterização dos solos do município de Tibagi-PR. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. 78p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 14)
- CARVALHO, Y. Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional, na região de Carambeí – PR. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1997. 87p. (Tese de Mestrado)
- CATTELAN, A.J.; GAUDÊNCIO, C.A. & SILVA, T.A. Sistemas de rotação de culturas em plantio direto e os microrganismos do solo, na cultura da soja em Londrina. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:293-301, 1997.
- CHEN, J. & STARK, J.M. Plant species effects and carbon and nitrogen cycling in sagebrush – crested wheatgrass soil. *Soil Biol. Biochem.*, 32:47-47, 2000.
- HASSINK, J. Effects of soil texture and grassland management on soil organic C and N and rates of C and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.*, 26:1221-1231, 1994.
- HAVLIN, J.L. KISSEL, D.E.; MADDUX, L.D.; CLAASSEN, M.M. & LONG, J.H. Crop – rotation and tillage effects on soil organic – carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:448-452, 1990.
- HERMAN, W.A.; MCGILL, W.B. & DORMAAR, J.F. Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. *J. Soil Sci.*, 57:205-215, 1977.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. Cartas climatológicas do Estado do Paraná - 1994. Londrina, 1994. 49p. (IAPAR. Documento, 18)
- JENKINSON, D.S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: WILSON, J.R., ed. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. Wallingford, CAB Internacional, 1988. p.368-386.
- JOERGENSEN, R.G. & BROOKES, P.C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0,5 M K₂SO₄ soil extracts. *Soil Biol. Biochem.*, 22:1023-1027, 1990.
- JUMA, N.G. Interrelationships between soil structure/texture, soil biota/soil organic matter and crop production. *Geoderma*, 57:3-30, 1993.
- LADD, J.N.; FOSTER, R.C. & SKJEMSTAD, J.O. Soil structure: Carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma*, 56:401-434, 1993.
- LADD, J.N.; JOCTEUR-MONROZIER, L. & AMATO, M. Carbon turnover and nitrogen transformations in an Alfisol and Vertisol amended with [U-¹⁴C] glucose and [¹⁵N] ammonium sulfate. *Soil Biol. Biochem.*, 24:359-371, 1992.
- LYNCH, J.M. & PAUTING, L.M. Variations in the size of the soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 12:547-550, 1980.
- MERCKX, R.; Den HARTOG, A. & van VEEN, J.A. Turnover of root-derived material and related microbial biomass and formation in soil of different texture. *Soil Biol. Biochem.*, 17:565-569, 1985.
- MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. p.81-152.
- NEAL, J.L.; LARSON, R.I. & ATKINSON, T.G. Changes in rhizosphere populations of selected physiological groups of bacteria related to substitution of specific pairs of chromosomes in spring wheat. *Plant Soil*, 39:209-212, 1973.
- O'SULLIVAN, M.F. Uniaxial compaction effects on soil physical properties in relation to soil type and cultivation. *Soil Till. Rev.*, 24:257-269, 1992.
- OMAY, A.B.; RICE, C.W.; MADDUX, L.D. & GORDON, W.B. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:1672-1678, 1997.
- PARKINSON, D. & PAUL, E.A. Microbial biomass. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., eds. *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*. Madison, SSSA, 1982. Part 2. p.821-829.
- PAUL, E.A. Dynamics of organic matter in soils. *Plant Soil*, 76:275-285, 1984.
- PURI, G. & ASHMAN, M.R. Relationship between soil microbial biomass and gross N mineralisation. *Soil Biol. Biochem.*, 30:251-2256, 1998.
- RAHN, C.R. & LILLYWHITE, R.D. A study of the quality factors affecting the short – term decomposition of field vegetable residues. *J. Sci. Food Agric.*, 82:19-26, 2001.

- RAIJ, B.van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S. & BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- REICHARDT, K. & TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. Barueri, 2004. 478p.
- RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:700-709, 2000.
- SÁ, J.C.M. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001. 141p. (Tese de Doutorado)
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C. & FEIGL, B.E. Organic matter dynamic and carbon sequestration rates for a tillage chronosequences in a Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1486-1499, 2001.
- SÁ, M.F.M. Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001. 117p. (Tese de Doutorado)
- SAKAMOTO, K. & HODONO, N. Turnover time of microbial biomass carbon in Japanese upland soils with different textures. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 46:483-490, 2000.
- SAS Institute. SAS/STAT guide for personal computers: Version 6. Cary, 1987. v.1.
- SIQUEIRA NETO, M. Estoque de carbono e nitrogênio do solo e emissões de gases do efeito estufa no sistema plantio direto em Tibagi (PR). Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 2003. 91p. (Tese de Mestrado)
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T. & PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1350-1358, 1999.
- SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, M.S.; SÁ, J.C.M. & ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22:755-775, 2002.
- SNEH GOYAL, M.M.M.; HOODA, I.S. & SINGH, R. Organic matter-microbial biomass relationships in field experiments under tropical conditions: Effects of inorganic fertilization and organic amendments. *Soil Biol. Biochem.*, 24:1081-1084, 1992.
- SOUZA, W.J.O. & MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:885-896, 2000.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of change in soil organic matter. *Austr. J. Soil Res.*, 30:195-207, 1992.
- SPARLING, G.P. & ROSS, D.J. Biochemical methods to estimate soil microbial biomass: Current developments and applications. In: MULONGOY, K. & MERCKX, R., eds. Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture. Chichester, Wiley, 1993. p.21-37.
- SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration *in situ* using microbial respiration and ¹⁴C labeled cells. *Soil Biol. Biochem.*, 20:337-343, 1988.
- SPARLING, G.P.; GRUPTA, V.V.S.R. & ZHU, C. Release of ninhydrin-reactive compounds during fumigation of soil to estimate microbial C and N. *Soil Biol. Biochem.*, 25:1803-1805, 1993.
- STALEY, T.E.; EDWARDS, C.L.; SCOTT, C.L. & OWENS, L.B. Soil microbial biomass and organic component alterations in a no-tillage chronosequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:998-1000, 1988.
- VALPASSOS, M.A.R.; CAVALCANTE, E.G.S.; CASSIOLATO, A.M.R. & ALVES, M.C. Effects of soil management systems on soil microbial activity, bulk density and chemical properties. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:1539-1545, 2001.
- van VEEN, J.A.; LADD, J.N. & AMATO, M. Turnover of carbon and nitrogen through the microbial biomass in a sandy loam and a clay soil incubated with [¹⁴C(U)] (NH₄)₂SO₄ under different moisture regimes. *Soil Biol. Biochem.*, 17:747-756, 1985.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- WARDLE, D.A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis. *Soil Biol. Biochem.*, 30:1627-1637, 1998.
- WARDLE, D.A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. In: BEGON, M. & FITTER, A.H., eds. Advances in ecological research. New York, Academic Press, 1995. v.26. p.105-185.