

SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO

BIOMASSA MICROBIANA E PRODUÇÃO DE C-CO₂ E N MINERAL DE UM PODZÓLICO VERMELHO-ESCURO SUBMETIDO A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO⁽¹⁾

L. K. VARGAS⁽²⁾ & D. SCHOLLES⁽³⁾

RESUMO

Os sistemas de manejo, com diferenças no revolvimento do solo e na composição dos resíduos vegetais, alteram as propriedades biológicas do solo, com reflexos na qualidade do solo e na produtividade das culturas. Com vistas em medir estas alterações nas propriedades biológicas do solo, a biomassa e a atividade microbiana foram avaliadas em um Podzólico Vermelho-Escuro, em Eldorado do Sul (RS), utilizando diferentes preparos (convencional, reduzido e plantio direto) e dois sistemas de sucessões de culturas (aveia preta + vica/milho + caupi e aveia/milho). As avaliações foram realizadas em quatro épocas, durante 12 meses, e em duas profundidades (0-5 e 5-15 cm). O carbono da biomassa microbiana foi analisado pelo método de fumigação-incubação, e a atividade microbiana, pela produção de C-CO₂ e N mineral, após 60 dias de incubação. As diferenças na biomassa e na atividade microbiana, entre os sistemas de manejo, foram mais pronunciadas na camada de 0-5 cm. Nesta camada de solo, observaram-se os maiores valores de biomassa e de atividade nos preparos conservacionistas e no sistema aveia + vica/milho + caupi. Dentre as variáveis estudadas, a mineralização de N mostrou-se a mais sensível aos manejos, à profundidade e à época de amostragem.

Termos de indexação: carbono da biomassa microbiana, atividade microbiana, preparos de solo, sistemas de culturas.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Rio Grande do Sul para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Recebido para publicação em fevereiro de 1999 e aprovado em dezembro de 1999.

⁽²⁾ Estudante de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 90001-970, Porto Alegre (RS).

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFRGS.

SUMMARY: *MICROBIAL BIOMASS AND C-CO₂ AND MINERAL NITROGEN PRODUCTION IN PALEUDULT SOIL CULTIVATED UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS*

Soil management systems, with different degrees of soil mobilization and different plant residue composition, alter soil biological properties, with consequences in soil quality and in plant productivity. In order to measure such alterations, soil microbial biomass and its activity were evaluated in a Paleudult soil, in the Central Depression of Rio Grande do Sul state, Brazil, conducted under different soil management systems, in a long-term experiment, for 12 years. Soil samples were collected in four different times, during 12 months, from three tillage (conventional, reduced and direct drilling) and two crop systems (oats (Avena strigosa) + vetch (Vicia sativa)/corn (Zea mays) + cowpea (Vigna sinensis) and oats/corn), in two depths (0-5 and 5-15 cm). Microbial biomass C was estimated using the chloroform fumigation-incubation method. Microbial activity was estimated through C-CO₂ release and mineral N production after 60 days of incubation. Soil microbial biomass and activity were greater in the surface 0-5 cm under direct drilling and oats + vetch/corn + cowpea systems. Nitrogen mineralization was the most sensitive parameter evaluated, since it was influenced by tillage systems, crop systems and depth.

Index terms: microbial biomass carbon, microbial activity, soil tillage, crop systems.

INTRODUÇÃO

A microbiota do solo, graças à sua atividade, atua na formação e na estabilização de agregados (Gupta & Germida, 1988) e na ciclagem de nutrientes, além de ser considerada bioindicador da qualidade do solo (Angers et al., 1993). O tamanho da comunidade microbiana e a sua atividade determinam a intensidade com que os processos bioquímicos acontecem. A atividade e a biomassa microbiana, por sua vez, são influenciadas, entre outros fatores, pela temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substratos no solo (Cattelan & Vidor, 1990).

Os diferentes métodos de preparo de solo, com diferentes características, provocam modificações em todos estes fatores, por meio da forma como os resíduos das culturas anteriores são depositados e do grau de revolvimento do solo. O solo apresenta temperaturas mais amenas durante o verão e mantém maior umidade, na medida em que não é revolvido e os resíduos das culturas de inverno são mantidos na sua superfície, como ocorre no plantio direto (Salton & Mielniczuk, 1995). Práticas como o plantio direto também podem promover aumento no teor de carbono orgânico e de nutrientes nos primeiros centímetros do solo (Alvarez et al., 1995). Já o preparo convencional caracteriza-se pela incorporação dos resíduos, promovendo maior aeração do solo e disponibilização de substratos, mediante o rompimento de agregados (Salinas-Garcia et al., 1997), podendo estimular a atividade microbiana imediatamente após o preparo do solo.

As diferentes espécies vegetais, por sua vez, determinam a quantidade, a qualidade e a persistência dos resíduos, alterando o crescimento

microbiano. O emprego de seqüências de culturas com alta produção de resíduos possibilita aumento da biomassa e maior atividade microbiana (Cattelan & Vidor, 1990), além dos benefícios da cobertura do solo e da maior disponibilidade de carbono orgânico. Além disto, a qualidade dos resíduos influencia a sua taxa de decomposição e a composição da comunidade microbiana que atua neste processo (Broder & Wagner, 1988).

Deste modo, sistemas de manejo de solo, com diferentes métodos de preparo de solo e diferentes culturas, resultam em ambientes totalmente distintos, com reflexos na comunidade microbiana. Uma vez que a microbiota afeta, direta e indiretamente, a produtividade agrícola, a avaliação e o conhecimento dos processos em que a biomassa microbiana está envolvida tornam-se de inegável importância para um manejo adequado do solo, visando à sua conservação e produtividade. Além disto, ainda são escassas as informações sobre a microbiota em sistemas conservacionistas, comparados com o sistema convencional, em solos brasileiros. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a biomassa e a atividade microbiana de um solo submetido a diferentes sistemas de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem e tratamentos

As amostras de solo foram coletadas em um experimento de longa duração, realizado, desde 1985, em um Podzólico Vermelho-Escuro, com um delineamento experimental em parcelas subdivididas

com três blocos casualizados, localizado na Estação Experimental Agronômica-UFRGS, em Eldorado do Sul (RS). As características do solo e o histórico do experimento encontram-se descritos em Bayer (1996) e Bayer & Mielniczuk (1997).

Foram avaliadas parcelas de solo submetidas ao preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto, com dois sistemas de sucessões de culturas: aveia (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*) e aveia + vicia (*Vicia sativa*)/milho + caupi (*Vigna sinensis*). Para o preparo convencional, realizaram-se uma aração e duas gradagens. O preparo reduzido foi efetuado com uma escarificação, seguida por uma gradagem leve, enquanto no plantio direto realizou-se a semeadura sem o preparo do solo sobre os resíduos das culturas anteriores. As operações de preparo de solo foram efetuadas apenas antes do plantio das culturas de verão (milho e caupi). As culturas de inverno (aveia e vicia) foram semeadas diretamente sobre os resíduos das culturas de verão, sem preparo de solo.

As amostras do solo de cada parcela foram coletadas em duas profundidades: 0-5 e 5-15 cm. A coleta das amostras foi realizada em quatro épocas: 07 de fevereiro de 1996, 06 de julho de 1996, 12 de novembro de 1996 e 22 de janeiro de 1997. Estas quatro épocas das amostragens correspondem, respectivamente, ao final do ciclo das culturas de verão, ao final do ciclo das culturas de inverno, ao estabelecimento e à metade do ciclo das culturas de verão do ano seguinte. A temperatura média do ar verificada na estação meteorológica da Estação Experimental Agronômica-UFRGS foi de 24,2°C, em fevereiro de 1996; 10,0°C, em julho de 1996; 22,0°C, em novembro de 1996, e 25,5°C, em janeiro de 1997. A precipitação pluviométrica foi de 71,0 mm, em fevereiro de 1996; 22,9 mm, em julho de 1996; 116,8 mm, em novembro de 1996, e 120,4 mm, em janeiro de 1997.

Avaliação do carbono da biomassa microbiana

Para avaliar o C da biomassa microbiana, foi utilizado o procedimento de fumigação-incubação descrito por Jenkinson & Powlson (1976). Foi adotado o fator de conversão 0,411, proposto por Anderson & Domsch (1978).

Avaliação da atividade microbiana por meio da produção de C-CO₂

As amostras de solo não fumigadas foram mantidas incubadas a 26°C por 60 dias, com a umidade ajustada para 70% de sua capacidade de campo. O C-CO₂ produzido foi captado por uma solução de NaOH 1 mol L⁻¹ e quantificado por titulação com HCl 1 mol L⁻¹. A respiração microbiana foi avaliada a cada 10 dias até o 30º dia de incubação. Após, foi analisado aos 45 e 60 dias. O C-CO₂ total produzido em 60 dias de incubação foi calculado pela soma da quantidade liberada entre cada período de incubação.

Avaliação da atividade microbiana por meio da produção de nitrogênio mineral

O N mineralizado, ao final de 60 dias de incubação, foi avaliado nas mesmas amostras em que foi feita a avaliação da produção de C-CO₂. O N mineral foi avaliado por extração com KCl 1 mol L⁻¹ e destilação, após a adição de MgO e liga Devarda, como descrito em Tedesco et al. (1985).

Análises estatísticas

Na análise dos dados, foram considerados os métodos de preparo de solo, como parcela principal; as culturas, como subparcela, e as profundidades, como subsubparcela. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono da biomassa microbiana

Apenas na primeira avaliação, houve influência dos sistemas de sucessões de culturas sobre o carbono da biomassa microbiana. Nesta avaliação, realizada ao final do ciclo do milho, houve interação significativa entre os métodos de preparo do solo e os sistemas de sucessões de culturas (Quadro 1). Embora Angers et al. (1993) afirmem que a presença de leguminosas, associada à redução do revolvimento do solo, promove o aumento do C da biomassa microbiana, não houve diferenças entre as culturas no plantio direto. Os sistemas de culturas também não diferiram dentro do preparo convencional. Apenas no preparo reduzido, na primeira avaliação, a presença de leguminosas resultou em aumento significativo no C da biomassa. A principal contribuição da presença de leguminosas deve-se a um aumento na disponibilidade de nitrogênio no solo, em comparação com sucessões de gramíneas. Campbell et al. (1991) e Salinas-Garcia et al. (1997) verificaram que a fertilização nitrogenada teve pouco efeito sobre o C da biomassa microbiana. Os autores sugeriram que o principal fator limitante para a comunidade microbiana foi a disponibilidade de C. Assim, a influência da disponibilidade de N sobre o crescimento microbiano está também na dependência da disponibilidade de C.

O carbono da biomassa microbiana foi afetado pela profundidade de amostragem em todas as avaliações, tendo sido verificados os maiores valores na camada de 0-5 cm (Quadro 2). Na primeira e na quarta avaliação, o efeito da profundidade apresentou interação entre os métodos de preparo do solo. Nestas duas avaliações, o C da biomassa microbiana foi maior na camada de 0-5 cm no plantio direto e no preparo reduzido. No preparo convencional,

Quadro 1. Carbono da biomassa microbiana do solo em diferentes métodos de preparo do solo e em sistemas de culturas, na primeira avaliação. Média de duas profundidades (0-5 e 5-15 cm)

Preparo do solo	Cultura	
	Aveia/milho	Aveia + vica/milho + caupi
	----- mg kg ⁻¹ -----	
Plantio direto	261 aA	255 aA
Reduzido	211 abB	252 aA
Convencional	194 bA	187 bA

Valores seguidos por letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

não houve diferenças entre as duas camadas do solo na primeira avaliação, enquanto, na quarta avaliação, o C da biomassa foi maior na camada 5-15 cm. Apenas na segunda avaliação, os métodos de preparo do solo não afetaram o C da biomassa. Nas demais avaliações, o C microbiano foi maior no plantio direto, seguido pelo preparo reduzido. Os menores valores foram verificados no preparo convencional, assim como havia sido constatado por Balota et al. (1998).

A disponibilidade de carbono orgânico foi, possivelmente, o fator determinante das diferenças na concentração do carbono microbiano. Ao longo do tempo, os métodos de preparo do solo interferem tanto na quantidade de C orgânico como na sua distribuição no perfil do solo. Bayer & Mielniczuk (1997), em um trabalho realizado na mesma área do presente estudo, verificaram um aumento no C orgânico total do solo, na camada de 0-2,5 cm, no plantio direto, em relação ao preparo reduzido e convencional, o que foi atribuído à deposição superficial dos resíduos e às menores perdas de matéria orgânica. Na camada de 7,5-17,5 cm, entretanto, o C orgânico total havia sido maior no preparo convencional. A maior concentração de C microbiano na camada de 0-5 cm, verificada nas quatro avaliações, pode ser explicada pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície e de carbono orgânico do solo no preparo reduzido e no direto, o que está de acordo com os resultados obtidos por Alvarez et al. (1995).

A interação entre métodos de preparo do solo e a profundidade de amostragem, verificada nas duas avaliações realizadas no verão, também pode estar associada a fatores ambientais. O preparo convencional apresentou valores menores de biomassa na camada superficial, tanto na primeira como na quarta avaliação, coincidindo com os valores

Quadro 2. Carbono da biomassa microbiana do solo em diferentes métodos de preparo do solo, em duas profundidades, nas quatro avaliações. Média de duas sucessões de culturas

Preparo do solo	Profundidade (cm)		
	0-5	5-15	Média
	----- mg kg ⁻¹ -----		
	1ª avaliação		
Plantio direto	303 aA	212 aB	258
Reduzido	265 aA	199 aB	232
Convencional	176 bA	205 aA	190
Média	248	205	
	2ª avaliação		
Plantio direto	225	167	196
Reduzido	209	149	179
Convencional	147	139	143
Média	194 A	152 B	
	3ª avaliação		
Plantio direto	231	176	203 a
Reduzido	191	121	156 b
Convencional	159	144	151 b
Média	194 A	147 B	
	4ª avaliação		
Plantio direto	242 aA	125 aB	184
Reduzido	213 aA	143 aB	178
Convencional	105 bB	144 aA	124
Média	187	137	

Valores seguidos por letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

mais baixos de umidade. Além de constituir uma fonte de C orgânico e nutrientes, os resíduos mantidos na superfície, segundo Salton & Mielniczuk (1995), resultam em menores variações de temperatura e umidade do solo. Da mesma forma, Gupta et al. (1983) observaram que a incorporação dos resíduos vegetais provocou maiores temperaturas do solo no preparo convencional. Também Cattelan & Vidor (1990) e Garcia & Rice (1994) verificaram que a redução do C microbiano coincidia com temperaturas altas e estresse hídrico durante o verão. Portanto, além da menor disponibilidade de carbono, a ocorrência de temperaturas altas e a menor umidade do solo podem ter afetado a comunidade microbiana na camada superior do preparo convencional.

Na segunda avaliação, ao contrário das demais, não foi verificado efeito dos métodos de preparo do solo sobre o C microbiano. Entretanto, o C da biomassa microbiana foi influenciado pela profundidade do solo, tendo sido maior na camada de 0-5 cm.

Como as culturas de inverno foram semeadas diretamente, sem revolvimento do solo, os resíduos das culturas de verão foram mantidos na superfície em todas as parcelas. A deposição de resíduos na superfície leva a uma maior concentração de substratos orgânicos nos primeiros centímetros do solo. Para Carter & Rennie (1982), as diferenças na biomassa microbiana ao longo do perfil do solo refletem a distribuição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica biodegradável. Assim, a biomassa microbiana deve ter sido estimulada pela maior disponibilidade de C orgânico na superfície do solo, em todas as parcelas. Além disto, com a manutenção dos resíduos, pode ter havido maior concentração de raízes na camada superficial do solo (Lynch & Panting, 1980), possibilitando uma maior biomassa microbiana nesta camada em função do efeito rizosférico.

Atividade microbiana estimada pela produção de C-CO₂ e de N mineral

A atividade microbiana potencial foi estimada pela produção de C-CO₂ e N mineral (NH₄⁺ - NO₃⁻), acumuladas ao final de 60 dias de incubação.

A produção de C-CO₂ foi influenciada pelos métodos de preparo do solo e apresentou interação significativa com a profundidade nas quatro avaliações (Quadro 3). O C-CO₂ liberado na camada de 0-5 cm foi maior no plantio direto, enquanto, na camada de 5-15 cm, não houve diferenças entre os preparos. Nos preparos conservacionistas, a produção de C-CO₂ foi maior na camada superficial, enquanto, no preparo convencional, a produção de C-CO₂ foi uniforme ao longo dos 15 cm do solo. Estes resultados assemelham-se aos de Follet & Schimel (1989) e Alvarez et al. (1995), Frazluebbers & Arshad (1996), que verificaram que a respiração microbiana e a disponibilidade de C para a microbiota decresceram com a intensidade de revolvimento do solo. Além de servir como uma fonte de C e nutrientes, a cobertura do solo com resíduos vegetais no plantio direto, ao longo dos anos, leva a um acúmulo de matéria orgânica na superfície. Esta matéria orgânica é mais rica em frações lábeis, como carboidratos, compostos nitrogenados e a própria biomassa microbiana e seus metabólitos, do que a matéria orgânica do preparo convencional (Carter & Rennie, 1982; Angers et al., 1993), possibilitando maior atividade microbiana.

Na terceira e na quarta avaliação, os valores de C-CO₂ foram superiores aos das avaliações anteriores. O aquecimento do solo na primavera e a grande disponibilidade de substratos devem ter contribuído para o aumento da atividade respiratória, o que está de acordo com os resultados obtidos por Cattelan & Vidor (1990).

A quantidade de C-CO₂ liberado na quarta avaliação foi cerca de três vezes maior do que na

primeira. Apesar de a primeira e a quarta coletas terem sido realizadas na mesma época, em anos diferentes, as culturas encontravam-se em estádios distintos. Na primeira coleta, em 07 de fevereiro de 1996, a cultura do milho estava no final do seu ciclo. Em grande parte, os resíduos de inverno já haviam sido consumidos pela biomassa microbiana, devendo ter restado compostos mais resistentes, como a lignina, que pouco contribuem para a atividade microbiana. A coleta de 22 de janeiro de 1997 foi realizada 90 dias após os preparos, ainda com grande parte dos resíduos de aveia sobre o solo. Além disto, as culturas de verão estavam plenamente estabelecidas, podendo ter estimulado a comunidade microbiana por meio do efeito rizosférico, como verificado por Cheng et al. (1996).

A liberação de C-CO₂ foi influenciada pelos sistemas de sucessões de culturas apenas na primeira e na quarta avaliação (Quadro 4) e, em ambas, o efeito dos sistemas de culturas esteve na dependência da profundidade. A presença de leguminosas na sucessão de culturas promoveu um aumento da liberação de C-CO₂ apenas na camada de 0-5 cm. Observou-se, ainda, que tanto o sistema

Quadro 3. C-CO₂ acumulado em 60 dias de incubação em diferentes métodos de preparo do solo, em duas profundidades, nas quatro avaliações. Média de duas sucessões de culturas

Preparo do solo	Profundidade (cm)	
	0-5	5-15
	mg kg ⁻¹	
	1ª avaliação	
Plantio direto	159 aA	67 aB
Reduzido	142 aA	68 aB
Convencional	76 bA	72 aA
	2ª avaliação	
Plantio direto	252 aA	95 aB
Reduzido	167 bA	111 aB
Convencional	114 bA	101 Aa
	3ª avaliação	
Plantio direto	493 aA	123 aB
Reduzido	453 aA	171 aB
Convencional	190 bA	218 aA
	4ª avaliação	
Plantio direto	507 aA	105 aB
Reduzido	380 abA	156 aB
Convencional	294 bA	302 aA

Valores seguidos por letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

aveia/milho como o aveia + vica/milho + caupi tiveram maior atividade respiratória na camada superficial. As mudanças na biomassa microbiana e em sua atividade ao longo do perfil do solo estão associadas a variações na disponibilidade de C orgânico (Alvarez et al., 1995). A maior disponibilidade de N e de compostos solúveis presentes em leguminosas (Broder & Wagner, 1988) podem ter possibilitado maior atividade microbiana no sistema aveia + vica/milho + caupi, em comparação à de aveia/milho.

A produção de nitrogênio mineral ($\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$), ao final de 60 dias de incubação, foi influenciada pelos métodos de preparo do solo, apresentando interação significativa com a profundidade de amostragem nas quatro avaliações (Quadro 5). Os maiores valores de N mineralizado foram verificados na terceira avaliação, logo após os preparos de solo, coincidindo com a maior disponibilidade de resíduos vegetais de rápida metabolização, tanto da parte aérea como das raízes das culturas de inverno. O aquecimento do solo, ainda sem as temperaturas extremas geralmente verificadas no verão, também pode ter favorecido o processo de mineralização de N (Mengel, 1996).

A mineralização de N orgânico foi influenciada pelos preparos do solo nas duas camadas do solo. O N mineralizado, na camada de 0-5 cm, foi maior no plantio direto, seguido pelo preparo reduzido e pelo preparo convencional. Observou-se, ainda, que, na camada de 5-15 cm, a mineralização foi maior no preparo convencional, possivelmente por causa da incorporação dos resíduos. Embora as taxas de mineralização possam ser maiores no preparo convencional (Doran, 1980), as quantidades de

Quadro 4. C-CO₂ acumulado em 60 dias de incubação em sucessões de culturas, em duas profundidades, na primeira e na quarta avaliação. Média de duas sucessões de culturas

Cultura	Profundidade (cm)	
	0-5	5-15
mg kg ⁻¹		
1ª avaliação		
Aveia/milho	104 bA	64 aB
Aveia + vica/milho + caupi	147 aA	74 aB
4ª avaliação		
Aveia/milho	328 bA	188 aB
Aveia + vica/milho + caupi	459 aA	187 aB

Valores seguidos por letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

Quadro 5. Nitrogênio mineralizado em 60 dias de incubação em diferentes métodos de preparo do solo, em duas profundidades, nas quatro avaliações. Média de duas sucessões de culturas

Preparo do solo	Profundidade (cm)	
	0-5	5-15
mg kg ⁻¹		
1ª avaliação		
Plantio direto	29 aA	16 bB
Reduzido	26 aA	19 abB
Convencional	15 bB	23 aA
2ª avaliação		
Plantio direto	43 aA	14 aB
Reduzido	29 bA	13 aB
Convencional	16 cA	16 aA
3ª avaliação		
Plantio direto	53 aA	20 aB
Reduzido	44 aA	22 aB
Convencional	27 bA	27 aA
4ª avaliação		
Plantio direto	41 aA	15 bB
Reduzido	32 bA	17 bB
Convencional	24 cA	23 aA

Valores seguidos por letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

N mineralizado tendem a ser maiores nos preparos conservacionistas. Follet & Schimel (1989) atribuíram a redução na mineralização de nitrogênio no preparo convencional à redução no N total do solo.

A biomassa microbiana no plantio direto revela maior capacidade de assimilação de N, podendo acarretar prejuízos para as culturas (Doran, 1980). Por outro lado, pode-se observar que a quantidade de N mineralizado na camada de 0-5 cm, na média das quatro avaliações, foi cerca de duas vezes maior no plantio direto, comparado ao N mineralizado no preparo convencional. Estes resultados reforçam a idéia de que a biomassa microbiana, além de ser responsável pela ciclagem de nutrientes, é uma fonte importante de N potencialmente mineralizável. A mineralização do N imobilizado na biomassa microbiana é dependente da mortalidade dos microrganismos (Mengel, 1996). Marumoto (1984) afirma que a mortalidade dos microrganismos é maior, quando o solo é submetido a estresses ambientais, como secamento, ou alguma perturbação mecânica. Esse tipo de estresse é mais comum no preparo convencional, razão por que a ciclagem do N imobilizado pode ser mais lenta no plantio direto em condições de campo. Pela sua importância e pela ausência de estudos conclusivos, os processos de

imobilização e mineralização de nitrogênio nos diferentes preparos do solo, bem como seus reflexos na produtividade vegetal, devem ser estudados mais detalhadamente.

Também foi verificada, nas quatro avaliações, interação significativa entre os sistemas de sucessões de culturas e a profundidade de amostragem (Quadro 6). Os maiores valores de N nos sistemas de culturas foram observados na sucessão aveia + vica/milho + caupi, na camada de 0-5 cm. Com exceção da terceira avaliação, o N mineralizado não diferiu na camada de 5-15 cm, entre os sistemas de culturas. A presença de leguminosas está ligada à melhoria da qualidade do solo, com aumento na sua fertilidade, via fixação simbiótica de N₂, e no seu potencial de mineralização de nitrogênio (Guggenberger et al., 1995). A mineralização dos compostos nitrogenados de resíduos orgânicos é limitada pela disponibilidade de N no solo e pela relação C:N e a composição dos resíduos (Mengel, 1996). O sistema aveia/milho não acrescenta N, via fixação simbiótica, levando a uma baixa disponibilidade deste nutriente no solo. Além disto, os resíduos de gramíneas apresentam relação C:N elevada e altas concentrações de celuloses e ligninas. Somani (1988) demonstrou que a adição de resíduos

com alta relação C:N resulta em imobilização de N. O maior conteúdo de lignina e outros compostos recalcitrantes nos resíduos também diminui a mineralização de N, em virtude de sua menor taxa de decomposição e interações físico-químicas da lignina com o N do solo (Mary et al., 1996).

Dentre as variáveis estudadas, a mineralização de N demonstra ter sido a mais sensível às modificações promovidas pelos diferentes manejos. Observou-se que esta variável foi afetada pelos sistemas de sucessões de culturas, pelos métodos de preparo do solo e pela profundidade de amostragem, em todas as avaliações. O efeito cumulativo de doze anos de plantio direto e da sucessão aveia + vica/milho + caupi permitiu que este sistema sustentasse maior biomassa e maior atividade microbiana. Os efeitos benéficos da maior biomassa microbiana e sua atividade refletem-se no aumento do C orgânico e do N do solo, como observado por Bayer & Mielniczuk (1997) nesta mesma área experimental.

CONCLUSÕES

1. O plantio direto e o sistema aveia + vica/milho + caupi aumentaram a biomassa e a atividade microbiana.

2. A biomassa e a atividade microbiana apresentaram uma distribuição diferenciada nas camadas de 0-5 e 5-15 cm, conforme os manejos. Os maiores valores de biomassa e atividade microbiana e as diferenças mais acentuadas entre os sistemas de manejo foram observados na camada de 0-5 cm.

3. Dentre as variáveis estudadas, a mineralização de N mostrou-se a mais sensível aos sistemas de manejo do solo, à profundidade de amostragem e à época de amostragem. A mineralização de N foi favorecida pela presença de leguminosas e pelo menor revolvimento do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao professor João Mielniczuk, pelo incentivo constante, pelas sugestões e pela permissão de uso da área experimental para a realização deste trabalho.

LITERATURA CITADA

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. Mineralization of bacteria and fungi in chloroform-fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.*, 10:207-213, 1978.

Quadro 6. Nitrogênio mineralizado em 60 dias de incubação em sucessões de culturas, em duas profundidades, nas quatro avaliações. Média de três preparos do solo

Cultura	Profundidade (cm)		
	0-5	5-15	Média
	mg kg ⁻¹		
	1ª avaliação		
Aveia/milho	18	17	17 b
Aveia + vica/milho + caupi	28	23	25 a
Média	24 A	19 B	
	2ª avaliação		
Aveia/milho	22 bA	14 aB	18
Aveia + vica/milho + caupi	36 aA	14 aB	25
Média	29	14	
	3ª avaliação		
Aveia/milho	32 bA	19 bB	25
Aveia + vica/milho + caupi	50 aA	28 aB	39
Média	41	23	
	4ª avaliação		
Aveia/milho	27 bA	18 aB	23
Aveia + vica/milho + caupi	37 aA	18 aB	28
Média	32	18	

Valores seguidos por letras distintas, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5%.

- ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J. & BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil Till. Res.*, 33:17-28, 1995.
- ANGERS, D.A.; BISSONNETTE, N.; LÈGÈRE, A. & SAMSOM, N. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.*, 73:39-50, 1993.
- 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.
- BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 240p. (Tese de Doutorado)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:105-112, 1997.
- BRODER, M.W. & WAGNER, G.H. Microbial colonization and decomposition of corn, wheat, and soybean residue. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:112-117, 1988.
- CAMPBELL, C.A.; BIEDERBECK, V.O.; ZENTNER, R.P. & LAFOND, G.P. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Can. J. Soil Sci.*, 71:363-376, 1991.
- CARTER, M.R. & RENNIE, D.A. Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Can. J. Soil Sci.*, 62:587-597, 1982.
- CATTELAN, A.J. & VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:133-142, 1990.
- CHENG, W.; ZANGH, Q.; COLEMAN, D.C.; CARROL, C.R. & HOFFMAN, C.A. Is available carbon limiting microbial respiration in rhizosphere? *Soil Biol. Biochem.*, 28:1283-1288, 1996.
- DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:518-524, 1980.
- FOLLETT, R.F. & SCHIMMEL, D.S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1091-1096, 1989.
- FRANZLUEBBERS, A.J. & ARSHAD, M.A. Soil organic matter pools during early adoption of conservation tillage in northwestern Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1422-1427, 1996.
- GARCIA, F.O. & RICE, C.W. Microbial biomass dynamics in tallgrass prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:816-823, 1994.
- GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. & THOMAS, R.J. Lignin and carbohydrate alteration in particle-size separates of an oxisol under tropical pastures following native savanna. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1629-1638, 1995.
- GUPTA, V.V.S.R. & GERMIDA, J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.*, 20:777-786, 1988.
- GUPTA, V.V.S.R.; LARSON, W.E. & LINDEN, D.R. Tillage and surface residue effects on soil upper boundary temperatures. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:1212-1218, 1983.
- JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 8:209-213, 1976.
- LYNCH, J.M. & PANTING, L.M. Cultivation and the soil biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 12:29-33, 1980.
- MARUMOTO, T. Mineralization of C and N from microbial biomass in paddy soil. *Plant Soil*, 76:165-173, 1984.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil*, 181:71-82, 1996.
- MENGEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. *Plant Soil*, 181:83-93, 1996.
- SALINAS-GARCIA, J.R.; HONS, F.M. & MATOCHA, J.E. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:152-159, 1997.
- SALTON, J.C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). *R. Bras. Ci. Solo*, 19:313-319, 1995.
- SOMANI, L.L. Nitrogen mineralization under the influence of decomposing organic materials in some soils of Rajasthan. *Agron. Lusitana*, 43:39-48, 1988.
- TEDESCO, J.M.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188 p. (Boletim técnico, 5)