

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO AVALIADA PELA DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA E ATRIBUTOS RELACIONADOS⁽¹⁾

Paulo Cesar Conceição⁽²⁾, Telmo Jorge Carneiro Amado⁽³⁾, João Mielniczuk⁽⁴⁾ & Evandro Spagnollo⁽⁵⁾

RESUMO

A matéria orgânica tem sido sugerida como um indicador-chave da qualidade do solo (QS), considerando sua influência nos demais atributos essenciais para que o solo desempenhe suas funções. Visando investigar o potencial desse indicador na avaliação de sistemas de manejo, foram utilizados dois experimentos de longa duração em Argissolos no Sul do Brasil. No primeiro, com dez anos, localizado na Universidade Federal de Santa Maria (RS), foram selecionados cinco tratamentos, sendo três sistemas de cultura (pousio/milho, aveia + vica/milho e mucuna/milho) estabelecidos sob sistema plantio direto, acrescidos de um tratamento mantido permanentemente sem plantas (solo descoberto) e mais um tratamento-referência mantido em campo natural. No segundo, com 15 anos, situado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Eldorado do Sul (RS), foram avaliados os seguintes tratamentos: o sistema de cultura aveia/milho em preparo convencional sem adubação nitrogenada, o mesmo sistema (aveia/milho) em três diferentes sistemas de preparo do solo (convencional, reduzido e plantio direto) e o sistema de cultura aveia + vica/milho + caupi em plantio direto, todos os últimos quatro tratamentos com adubação nitrogenada ($144 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Neste experimento, foram ainda utilizados, como referência, uma área de campo natural e um tratamento com elevada adição de resíduos (guandu/milho). Inicialmente, os tratamentos foram hierarquizados em ordem crescente de QS, com base nos resultados disponíveis e na experiência acumulada pelos pesquisadores responsáveis pelos experimentos. Foram analisados os teores de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio total (NT), COT e NT nas frações superiores e inferiores a $53 \mu\text{m}$, potencial de mineralização do C e N do solo e C da biomassa microbiana. Somente as camadas de 0-5 e 0-20 cm foram utilizadas

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em novembro de 2003 e aprovado em agosto de 2005.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 15100, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: pconceicao@hotmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista do CNPq. E-mail: tamado@smail.ufsm.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, UFRGS. Bolsista do CNPq. E-mail: mieln@vortex.ufrgs.br

⁽⁵⁾ Doutor em Ciência do Solo, UFSM. E-mail: spagnollo@bol.com.br

neste trabalho. A QS foi alterada pelos manejos adotados em ambas as áreas experimentais. O COT e NT, avaliados na camada de 0-5 cm, mostraram-se eficientes em discriminarem o impacto de sistemas de manejo sobre a QS, reproduzindo, em ambas as áreas, a ordenação proposta. Dentre as frações avaliadas, a > 53 µm foi a mais sensível em detectar os impactos dos sistemas de manejo.

Termos de indexação: carbono orgânico total, culturas de cobertura, conservação do solo.

SUMMARY: SOIL ORGANIC MATTER AND OTHER ATTRIBUTES AS INDICATORS TO EVALUATE SOIL QUALITY IN CONSERVATION SYSTEMS

Researchers have suggested soil organic matter (SOM) as a key indicator of soil quality (SQ), due to its positive influence in other important soil attributes. With the objective to evaluate the potential use of SOM as an indicator to select soil management systems, two long-term experiments carried out on Paleudults in southern Brazil were used. In the first ten-year experiment located in Santa Maria (Rio Grande do Sul State, Brazil) at the Federal University of Santa Maria, five treatments composed of three crop systems (winter fallow/corn, rye+vetch/corn and velvet bean/corn) under no-tillage, bare soil and native vegetation were selected. In the second experiment that was 15-years-old, in Eldorado do Sul (Rio Grande do Sul State, Brazil) at the Federal University of Rio Grande do Sul, the following treatments were selected: black oat/corn under conventional tillage without nitrogen fertilization and four other treatments consisting of soil tillage systems (conventional, reduced and no-tillage) with black oat/corn, and black oat + vetch/corn + cowpea under no-tillage. The last four latter treatments received N fertilization at an average rate of 144 kg ha⁻¹, applied to corn. In this experiment native vegetation (undisturbed) and pigeon pea/corn under no tillage with N fertilization of 144 kg ha⁻¹ applied to corn were used as reference treatments. In both experiments the treatments were ranked based on expected SQ. Total Organic Carbon (TOC) and Total Nitrogen (TN), TOC and TN in soil fractions above and below 53 µm, potential of carbon and nitrogen mineralization and microbial biomass were evaluated. Only the 0-5 and 0-20 cm deep layers were considered. Soil management impacted SQ in both experimental areas. The soil attributes TOC and TN at 0-5 cm depth were effective to discriminate the impact of soil management systems on SQ, in line with the expected ranking in both areas. Among the SOM fractions, that > 53 µm was the most sensitive to discriminate SQ alterations induced by soil management systems.

Index terms: total organic carbon, cover crops, soil conservation.

INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade do solo (QS) começou a ser formulado no início dos anos 90s, sendo definido, de forma simplificada, como a aptidão para o uso (Larson & Pierce, 1991). Já Doran & Parkin (1994) elaboraram uma definição mais complexa relativa à capacidade de o solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema, sustentando a produtividade biológica, mantendo a qualidade do ambiente e promovendo a saúde de plantas e animais.

Para avaliar a QS, faz-se necessário selecionar algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos indicadores (Doran & Parkin, 1994). Um eficiente indicador deve ser sensível às variações

do manejo, bem correlacionado com as funções desempenhadas pelo solo, capaz de elucidar os processos do ecossistema, ser compreensível e útil para o agricultor e, preferentemente, de fácil e barata mensuração (Doran & Zeiss, 2000). Ainda, deve ser sensível às alterações na QS induzidas por modificações recentes no manejo do solo.

Para Islam & Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; e, entre

esses dois extremos, estão os indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de QS.

No Sul do Brasil, estudos referentes ao assunto ainda são escassos. Amado et al. (1998) e Reinert et al. (1998), avaliando áreas arenosas da fronteira sudoeste do RS, concluíram que sistemas de preparo convencional, nesses solos de alta fragilidade, tiveram, como consequência, a redução de sua qualidade física e química, quando comparados ao campo natural. Vezzani (2001), avaliando os estados de ordem dos sistemas de cultivo, encontrou que a maior proporção de macroagregados e carbono retido caracterizavam estados de ordem em níveis hierárquicos mais altos, gerando, conseqüentemente, propriedades emergentes que habilitavam o solo a exercer suas funções com excelência de qualidade.

Recentemente, várias estratégias de avaliação da QS têm sido propostas. Dentre elas, destacam-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos químicos, físicos e biológicos do solo para a obtenção de um índice confiável de QS (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994). Em oposição a estas, existem também aquelas que consideram que um número reduzido de atributos-chaves, como a matéria orgânica do solo (MOS), podem expressar eficientemente a QS (Gregorich et al., 1994; Seibold et al., 1998).

A MOS apresenta potencial para ser utilizada como atributo-chave da QS (Doran & Parkin, 1994; Mielniczuk, 1999), pois, além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (Gregorich et al., 1994). Ela também atua sobre outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo. Solos tropicais, intensamente intemperizados, apresentam como uma das suas principais características químicas a baixa CTC. Nesses solos, o teor de MOS tem importância preponderante na CTC efetiva (Bayer & Mielniczuk, 1999). Todavia, em algumas situações, notadamente naquelas induzidas por sistemas de manejo com histórico de adoção de curto prazo, este indicador pode não ser um eficiente discriminador das alterações na QS. Nesse caso, a avaliação de compartimentos da MOS, como a particulada, pode ser uma alternativa de incremento da sensibilidade (Freixo, 2000; Bayer et al., 2001; 2002). Esta fração desempenha importante função na ciclagem de nutrientes, podendo ser considerada uma fração lábil no solo.

Dentre os atributos relacionados com a MOS, o carbono da biomassa microbiana do solo, embora represente uma pequena fração (< 5 %), também é considerado um sensível indicador da QS (Vargas & Scholles, 2000). Sua grandeza está relacionada com o teor de MOS, especialmente com a fração particulada. A biomassa microbiana também é considerada um reservatório de nutrientes de rápida ciclagem, apresentando associação com a fertilidade do solo. Outro atributo, relacionado com a MOS, que tem sido proposto, é o potencial de mineralização de carbono. Este indicador também está associado ao tamanho do compartimento da fração particulada da MOS.

Este trabalho teve, como objetivo principal, avaliar o potencial da MOS e de atributos relacionados em detectar alterações da QS induzidas pela adoção de sistemas de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Áreas experimentais

Dois experimentos de manejo do solo, ambos localizados na Depressão Central do RS, foram utilizados neste trabalho. O primeiro, realizado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) há 10 anos, e o segundo, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) há 15 anos.

Na UFSM

Nessa primeira área, o solo foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico A moderado textura superficial arenosa/média (Embrapa, 1999). A localização geográfica é 29 ° 45 ' de latitude Sul e 53 ° 42 ' de longitude oeste. A altitude é de 96 m. O clima da região é subtropical úmido, Cfa segundo classificação climática de Koeppen. A precipitação média anual é de 1.769 mm (Moreno, 1961).

As parcelas utilizadas, com duas repetições, fazem parte de um experimento de perdas de solo e água sob chuva natural, com dimensões de 3,5 x 22,0 m. Os tratamentos selecionados foram os seguintes: (1) solo descoberto (S.DESC.); (2) pousio/milho (*Zea mays*) (POUSIO/M); (3) azevém (*Lolium multiflorum*)+vica (*Vicia sativa*)/milho (AZEVÉM/M); (4) mucuna (*Stizolobium cinereum*)/milho (MUCUNA/M) e (5) campo natural (CN). Detalhes experimentais encontram-se descritos em Debarba (1993).

Na UFRGS

A segunda área avaliada localiza-se em Eldorado do Sul (RS), na Estação Experimental Agronômica, sendo o solo um Argissolo Vermelho distrófico de textura franco-argilosa (Embrapa, 1999). A localização

geográfica é 30 ° 50 ' de latitude sul e 51 ° 38 ' de longitude oeste. O clima, segundo classificação de Köppen, é o subtropical de verão úmido quente do tipo fundamental Cfa. A precipitação média anual é de 1.440 mm (Moreno, 1961).

O experimento consta de três sistemas de preparo: convencional (PC), reduzido (PR) e plantio direto (PD), três sistemas de cultura: aveia (*Avena strigosa*)/milho, aveia + vica/milho e aveia + vica/milho + caupi (*Vigna unguiculata*) e duas doses médias de adubação nitrogenada: 0 e 144 kg ha⁻¹ de N. As parcelas mediram 5 x 10 m, em blocos ao acaso, com três repetições. Nesse experimento, foram selecionados cinco tratamentos (1 a 5) acrescidos de outros dois (6 e 7), em área adjacente, a saber: (1) aveia/milho sob PC e sem adubação nitrogenada (PCSN A/M); (2) aveia/milho sob PC e com adubação nitrogenada (PC A/M); (3) aveia/milho sob PR e com adubação nitrogenada (PR A/M); (4) aveia/milho sob PD e com adubação nitrogenada (PD A/M); (5) aveia + vica/milho + caupi sob PD e com adubação nitrogenada (PD A + V/M + C); (6) guandu (*Cajanus cajan*s)/milho sob PD (GUANDU/M) e com adubação nitrogenada; (7) campo natural (CN). As operações de preparo do solo somente foram feitas uma vez por ano antecedendo a cultura do milho. No PC, o resíduo foi incorporado mediante uma aração e duas gradagens. No PR, o preparo do solo foi efetuado com um escarificador de hastes, incorporando parcialmente os resíduos ao solo. No sistema PD, não houve revolvimento do solo, exceto pela semeadora. Detalhes deste experimento encontram-se em Lovato (2001).

Ordenação teórica dos tratamentos quanto à qualidade do solo

O conceito de QS utilizado neste trabalho tem como embasamento teórico a termodinâmica do não-equilíbrio aplicada ao solo, proposta por Vezzani (2001). Essa abordagem considera que o solo é um sistema aberto, não atingindo qualidade por si só, mas, sim, pela eficiência de funcionamento do sistema solo-planta-microrganismos. A hierarquização dos tratamentos, em ordem crescente da QS, foi feita com base nos resultados disponíveis e na experiência acumulada pelos pesquisadores responsáveis pelos experimentos (Figura 1).

O primeiro nível, na área da UFSM (Figura 1a), é representado pelo S.DESC. Este tratamento encontrava-se em condições de severa degradação, visto que foi mantido durante 10 anos sem plantas e com elevadas perdas de solo por erosão. O cultivo do milho, com adubação nitrogenada e pousio hibernar, permitiu a melhoria da QS em relação ao tratamento anterior, gerando o nível 2, representado pelo sistema POUSIO/M. A utilização das culturas de cobertura do solo no sistema AZEVÉM/M, por aumentar a proteção do solo, gerou o nível 3. A mucuna, leguminosa de verão com elevada

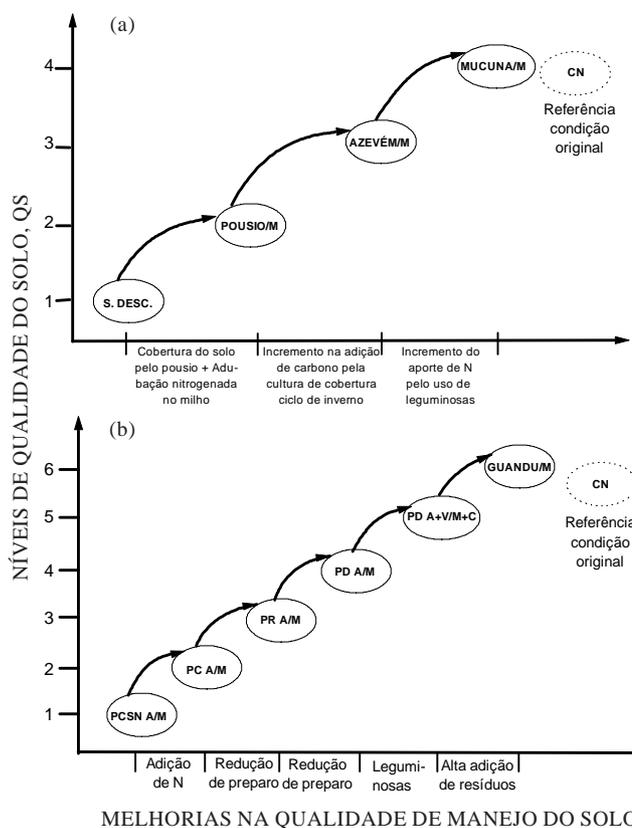


Figura 1. Sistema de organização teórico proposto para a ordenação da QS nas áreas experimentais da UFSM (a) e UFRGS (b). PC = Preparo convencional; PD = Plantio direto; A = aveia preta; M = milho; V = vica; C = caupi e CN = campo natural.

capacidade de fixação biológica de N₂ e aporte de fitomassa (Quadro 1), estabeleceu um novo estado de organização (nível 4), representado pelo MUCUNA/M. O tratamento campo natural (CN), sem pastejo, por não ter sido perturbado, foi utilizado como referência das condições originais da área. Dentro da hierarquização de níveis de QS, o sistema CN não ocupou um nível de ordem específico.

Na área da UFRGS (Figura 1b), no nível 1, enquadrou-se o tratamento de qualidade inferior, em virtude da baixa produção de biomassa, representado pelo PCSN A/M. A utilização de adubação nitrogenada no sistema PC A/M promoveu incrementos no aporte de fitomassa (Quadro 1) gerando o nível 2 de QS. A redução da intensidade de mobilização do solo, no sistema PR A/M, proporcionou um novo patamar de QS (nível 3). A adoção do sistema PD A/M, por promover a máxima redução na mobilização, determinou o nível 4 de QS.

No sistema de cultura (PD A + V/M + C), a utilização de duas leguminosas permitiu o aporte de maior quantidade de N, além de propiciar os

Quadro 1. Adição média anual de carbono e nitrogênio pelos sistemas de cultura e adubação nitrogenada mineral nas áreas experimentais de Santa Maria (UFSM) e de Eldorado do Sul (UFRGS)

Local	Sistema de preparo	Sistema de cultura	Dose média de	Adição anual	Adição anual de N
			N-mineral	de C via resíduos	via resíduos
			kg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
UFSM ⁽¹⁾	Plantio direto	Pousio/milho	130	2,78	71
	Plantio direto	Azevém + vica/milho	130	3,76	117
	Plantio direto	Mucuna/milho	65	4,51	206
UFRGS ⁽²⁾	Convencional	Aveia/milho	0	4,23	40
	Convencional	Aveia/milho	144	6,67	42
	Reduzido	Aveia/milho	144	7,09	46
	Plantio direto	Aveia/milho	144	6,63	42
	Plantio direto	Aveia + vica/milho + caupi	144	7,83	134
	Plantio direto	Guandu/milho	144	6,27	286

⁽¹⁾ Dados adaptados a partir de Amado et al. (2001). ⁽²⁾ Dados adaptados a partir de Bayer et al. (2001) e Lovato (2001).

benefícios da biodiversidade. Dessa forma, o sistema solo pode-se organizar de forma superior, caracterizando o nível 5. O sistema GUANDU/M proporcionou as mais elevadas adições de N e níveis intermediários de adição de C (Quadro 1), sendo por isto categorizado como de excelente QS (nível 6). O sistema CN, tratamento-referência, teve os mesmos pressupostos definidos anteriormente para a área da UFSM.

Avaliações

Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT)

As amostras foram coletadas nas profundidades de 0–2,5; 2,5–5; 5–7,5; 7,5–10; 10–15 e 15–20 cm, mediante abertura de trincheira de 20 x 40 cm transversalmente às linhas de semeadura. Para cada camada, o solo foi coletado com espátula, homogeneizado, acondicionado em embalagem plástica e levado para o laboratório onde foi destorroado, seco ao ar e moído. Neste trabalho, por limitações de extensão, serão apresentados somente os resultados referentes às camadas de 0–5 e 0–20 cm, uma vez que elas refletem o comportamento verificado nas demais camadas. Informações detalhadas sobre as demais camadas encontram-se em Conceição (2002). Para a determinação do COT, utilizou-se o método de combustão úmida denominado Walkley & Black, enquanto, para o NT do solo, utilizou-se a destilação de arraste de vapor em semi-micro Kjeldhal, ambos os métodos descritos em Tedesco et al. (1995).

Fracionamento da matéria orgânica do solo

O fracionamento da MOS, visando discriminar a fração particulada da associada aos minerais, foi efetuado por fracionamento granulométrico. Para

isso, 20 g de solo foram pesados, colocados em “snap-cap” com 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹) e submetidos à agitação horizontal por 15 h (Cambardella & Elliott, 1992). Após o fracionamento, as amostras, secas a 50 °C, foram analisadas quanto ao teor de C e N, conforme método descrito anteriormente e os resultados expressos para a camada de 0–5 cm.

Potencial de mineralização do C e N do solo

O procedimento adotado para esta avaliação foi o descrito por Wood & Edwards (1992). Em vidros de 1 L foram adicionados 20 mL de água e colocado um pote que continha 10 g de solo com umidade ajustada para 60 % da capacidade de campo e outro com 12 mL de hidróxido de sódio (NaOH 1 mol L⁻¹) para captar o CO₂. Os vidros foram hermeticamente fechados e incubados por 28 dias a 25 °C. A determinação do CO₂ evoluído foi feita por titulação com HCl 0,5 mol L⁻¹ em presença de excesso de BaCl₂. Para determinação do N mineralizado, amostras de solo antes e depois da incubação foram analisadas quanto ao teor de N-mineral (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻ + N-NO₂⁻), conforme descrito em Tedesco et al. (1995). Os resultados foram expressos para a camada de 0–5 cm.

Biomassa microbiana

O método empregado foi o descrito por Ferreira et al. (1999). O carbono da biomassa foi determinado em um extrato livre de solo por meio da análise de água proposta por Tedesco et al. (1995). Os resultados foram expressos para a camada de 0–5 cm.

Análise estatística

Os experimentos foram analisados, separadamente, nas áreas da UFRGS e UFSM. Os resultados foram submetidos à análise da variância e as diferenças

entre médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Procedeu-se também à análise de correlação entre os atributos avaliados, obtendo-se o coeficiente de correlação de Pearson.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Carbono Orgânico Total e fracionamento do COT

Em ambas as áreas, independentemente da camada, a utilização de leguminosas nos sistemas MUCUNA/M, GUANDU/M e PD A + V/M + C sob sistema plantio direto foi capaz de manter o estoque de COT semelhante ao do tratamento-referência (campo nativo) (Quadro 2). Na UFRGS, o tratamento PD A + V/M + C foi 35,3 e 10,7 % superior ao PD A/M, respectivamente, nas camadas de 0–5 e 0–20 cm. Esse efeito pode ser atribuído às maiores quantidades de matéria seca e N aportados pelas leguminosas, uma vez que o sistema de preparo era o mesmo. Quanto à distribuição vertical, esse incremento no estoque de COT foi três vezes superior na camada de 0–5 cm do que o verificado na camada de 0–20 cm, refletindo a deposição superficial dos resíduos e a maior concentração de raízes. Assim, a taxa de incremento proporcionada pelo sistema PD A + V/M + C foi de 49,3 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ (0–5 cm) e 12,7 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ (0–20 cm), quando comparada à do PD A/M. O efeito do preparo do solo combinado

com a baixa adição de resíduos verificados no tratamento PCSN A/M influenciou negativamente o estoque de COT. O tratamento PD A + V/M + C apresentou estoques de COT de 95,1 e 31,3 % superiores, respectivamente, nas camadas de 0–5 e 0–20 cm, aos verificados naquele tratamento. Novamente, o incremento no estoque de COT foi aproximadamente três vezes maior na camada mais superficial do solo.

Ao comparar o PD A + V/M + C com os tratamentos que envolveram preparo do solo, observou-se incremento do COT de 52,8 e 15,0 % em relação ao PR A/M e 67,3 e 17,6 % em relação ao PC A/M, respectivamente, nas camadas de 0–5 e 0–20 cm. Em relação ao tratamento-referência (campo nativo), o PR A/M provocou decréscimos de 39,3 e 21,0 % e o PC A/M de 44,5 e 21,9 %. Nesse caso, a taxa de decréscimo anual do estoque de carbono foi de 80,1 (0–5 cm) e 30,3 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ (0–20 cm) resultante do preparo reduzido. Já a taxa de decréscimo do preparo convencional foi de 90,7 (0–5 cm) e 31,7 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹ (0–20 cm). Estes decréscimos foram próximos entre si novamente e mais pronunciados na camada superficial do solo do que em profundidade.

Em relação ao tratamento CN, na UFRGS, o sistema PCSN A/M, tratamento de QS inferior, apresentou reduções no estoque de COT de 53,8 e 30,7 % respectivamente, para a camada de 0–5 e 0–20 cm. Na área da UFSM, o sistema S.DESC., tratamento de QS inferior, apresentou reduções de

Quadro 2. Carbono orgânico total (COT), fração particulada (CO > 53 µm), fração associada aos minerais (CO < 53 µm), percentagem da fração particulada em relação ao COT, carbono da biomassa microbiana (C-microbiano) e carbono mineralizado no período de 28 dias (C-CO₂ evoluído), para os diferentes tratamentos nas áreas experimentais, na camada de 0–5 cm, e estoque de COT, na camada de 0–20 cm

Local	Sistema de manejo	COT	CO > 53 µm	CO < 53 µm	CO > 53 µm / COT	Estoque COT	C- Microbiano	C-CO ₂ evoluído
		kg ha ⁻¹			%	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	
UFSM	S.DESC.	3.208 b ⁽¹⁾	274 c	2.934 a	9	14,9 b	45 b	30 a
	POUSIO/M	6.759 a	1.094 bc	5.665 a	16	19,2 ab	258 a	120 a
	AZEVÉM/M	8.224 a	2.488 ab	5.735 a	30	20,8 a	300 a	210 a
	MUCUNA/M	9.424 a	2.971 a	6.453 a	32	25,1 a	277 a	285 a
	CN	7.178 a	1.743 abc	5.435 a	24	22,1 a	357 a	292 a
	C.V. (%)	11,3	24,2	15,3		10,6	16,9	34,9
UFRGS	PCSN A/M	7.266 c	816 d	6.450 c	11	30,0 d	116 a	87 a
	PC A/M	8.474 bc	1.209 cd	7.266 c	14	33,8 cd	129 a	132 a
	PR A/M	9.273 bc	1.642 cd	7.630 c	18	34,2 cd	177 a	182 a
	PD A/M	10.476 b	2.572 bcd	7.904 bc	25	35,6 c	210 a	277 a
	PD A + V/M + C	14.174 a	2.789 bc	11.384 ab	20	39,4 ab	240 a	322 a
	GUANDU/M	16.501 a	5.722 a	10.779 a	35	41,3 ab	264 a	392 a
	CN	15.279 a	3.752 b	11.527 a	25	43,3 a	251 a	407 a
	C.V. (%)	8,0	23,4	12,1		7,6	6,5	54,8

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro das mesmas áreas experimentais, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

55,3 e 32,6 %, para as mesmas camadas, em relação ao CN. Assim, as taxas de decréscimo foram de 106,8 e 44,3 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹, para a UFRGS, e de 79,4 e 36,0 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹, para a UFSM, respectivamente, para as camadas de 0–5 e 0–20 cm. As maiores taxas de decréscimo no estoque de COT verificado na área da UFRGS provavelmente estão associadas ao maior estoque inicial quando comparada às da UFSM.

A fração particulada da matéria orgânica (> 53 µm) foi mais sensível do que o COT, ambos atributos avaliados na camada de 0–5 cm, em discriminar os sistemas de manejo adotados (Quadro 2). No entanto, deve-se destacar que o coeficiente de variação (CV) do CO > 53 µm foi superior ao dobro do verificado no COT, nas duas áreas avaliadas. Os tratamentos de maior QS, GUANDU/M e MUCUNA/M, proporcionaram, respectivamente, incrementos no CO > 53 µm de 70,4 e 52,5 % superiores ao CN, indicando que os sistemas de manejo favoreceram o enriquecimento desta fração em relação à condição original. O quociente entre o estoque de C da fração particulada e o COT no tratamento CN foram de 24 e 25 %, respectivamente, para a UFSM e UFRGS. Este resultado é concordante com os obtidos anteriormente por Bayer (1996), nesta mesma área experimental, e por Doran et al. (1998) que encontraram uma faixa de 20 a 29 % de participação do C da fração particulada no estoque do COT. Os sistemas de manejo que apresentaram melhoria da QS incrementaram esta relação, enquanto aqueles que promoveram decréscimo levaram à redução. Assim, o efeito negativo do preparo do solo sobre a fração particulada da MOS ficou evidenciado nas reduções de 56,2 e 67,8 %, respectivamente, para o PR A/M e PC A/M, quando comparado ao do CN.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam que a fração particulada foi eficiente na detecção de

alterações induzidas pelos sistemas de manejo do solo, concordando com Freixo (2000) e Bayer et al. (2001). Graças à sensibilidade da fração particulada da MOS, infere-se que este compartimento possa ser utilizado como indicador de QS para avaliação de sistemas de manejo recentes, nos quais as alterações no COT do solo ainda não tenham sido de grande magnitude.

Carbono da biomassa microbiana e potencial de mineralização do carbono do solo

A magnitude da respiração do solo avaliada pelo C-CO₂ evoluído durante incubação foi semelhante à obtida por Liebig et al. (1995), sendo superior a anteriormente obtida por Vargas & Scholles (2000) na mesma área experimental da UFRGS. Em ambas as áreas, não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos e os CV obtidos estiveram entre os mais elevados deste trabalho.

A quantidade de biomassa microbiana correlacionou-se com a evolução do CO₂, com coeficientes de 0,47 na análise, incluindo os dados das duas áreas experimentais (Quadro 3). Dessa forma, a menor quantidade de C-microbiano nos sistemas que levaram à degradação refletiram-se, como esperado, em menor atividade microbiana. Assim, na UFRGS, a quantidade de C-microbiano no PCSN A/M foi 53,8 % inferior ao verificado no CN, enquanto a redução na quantidade de C-CO₂ evoluído foi de 78,6 %. A manutenção do solo descoberto e sem adição de resíduos, na área da UFSM, resultou em reduções de 88,4 % no C da biomassa microbiana e 89,7 % no C-CO₂ evoluído comparativamente ao CN. Por outro lado, na UFSM, o tratamento MUCUNA/M, apresentou 77,6 e 97,6 %, respectivamente, do C-microbiano e C-CO₂ evoluído, verificado no tratamento-referência, enquanto, na UFRGS, o PD

Quadro 3. Coeficientes de correlação entre os atributos do solo, na camada de 0-5 cm, incluindo dados das duas áreas experimentais

Atributo ⁽¹⁾	COT	NT	CO > 53 µm	N > 53 µm	CO < 53 µm	N < 53 µm	NPM	C-CO ₂	C-MICROB
COT	1,00	0,95*** ⁽²⁾	0,90***	0,87***	0,97***	0,88***	0,61***	0,61***	0,50**
NT		1,00	0,81***	0,80***	0,95***	0,97***	0,49**	0,56***	0,36*
CO > 53			1,00	0,89***	0,76***	0,69***	0,60***	0,53**	0,61***
N > 53				1,00	0,78***	0,63***	0,51**	0,46**	0,48**
CO < 53					1,00	0,91***	0,56**	0,59***	0,39*
N < 53						1,00	0,45*	0,54***	0,27 ^{ns}
NPM							1,00	0,48**	0,74***
C-CO ₂								1,00	0,47**
C-MICROB									1,00

⁽¹⁾ COT = carbono orgânico total, NT = nitrogênio total, CO > 53 µm = carbono orgânico na fração particulada, N > 53 µm = nitrogênio na fração particulada, CO < 53 µm = carbono orgânico na fração associada aos minerais, N < 53 µm = nitrogênio na fração associada aos minerais, NPM = nitrogênio potencialmente mineralizável, C-CO₂ = carbono mineralizado, C-MICROB = carbono na biomassa microbiana. ⁽²⁾ *, **, *** e ^{ns}. Significativos a 5, 1 e 0,1 % e não-significativo a 5 %.

A + V/M + C apresentou 95,6 e 79,1 %, respectivamente, para estas mesmas avaliações do verificado no CN. Já o tratamento de melhor qualidade (GUANDU/M) apresentou 105,2 e 96,3 %, respectivamente, do C-microbiano e C-CO₂ evoluído observado no tratamento-referência (Quadro 2).

A correlação do C da biomassa microbiana com o COT foi de 0,50, para a camada de 0–5 cm, com dados incluindo as duas áreas experimentais (Quadro 3), enquanto para o C-CO₂ foi de 0,61. Embora tenham apresentado elevado coeficiente de variação, o C-microbiano e o C-CO₂ evoluído apresentaram potencial de utilização para seleção de sistemas de manejo.

Nitrogênio Total e fracionamento do NT

O estoque de NT, assim como verificado para o COT, foram inferiores no Argissolo Vermelho distrófico arênico (UFSM) em relação ao Argissolo Vermelho distrófico de textura franco-argilosa (UFRGS) (Quadro 4). Assim, comparando o NT dos tratamentos-referência (campo nativo), verificou-se que o estoque do primeiro solo foi aproximadamente 45 % daquele do segundo solo, para as camadas de 0–5 e 0–20 cm, enquanto, para o estoque de COT, estes valores foram 47 e 51 %, respectivamente, para as mesmas camadas anteriores (Quadro 2). Esses resultados evidenciam a importância da textura e da mineralogia do solo nos estoques de COT e NT, uma vez que a vegetação de campo nativo pode ser considerada semelhante entre as áreas. As

diferenças superiores a 100 % nos estoques de COT e NT entre as áreas sob campo nativo reforçam a recomendação de que os sistemas de manejo sejam comparados com tratamentos de referência regionalizados.

Os sistemas MUCUNA/M (UFSM) e GUANDU/M (UFRGS) foram eficientes em manter os estoques de NT do solo equivalentes ao do CN. Este resultado concorda com o de Amado & Mielniczuk (1999) que relataram que o uso de leguminosas associado ao plantio direto foi uma eficiente estratégia para recuperar o estoque de NT no solo. Assim, na UFSM, o sistema MUCUNA/M proporcionou incrementos no estoque de NT de 56,0 e 21,3 %, respectivamente, nas camadas de 0–5 e 0–20 cm, em relação ao POUSSIO/M. Nesse caso, as taxas de incremento foram de 5,5 e 1,8 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para as camadas de 0–5 e 0–20 cm. Assim, na camada superficial, este incremento foi 3,4 vezes superior. Na UFRGS, o PD A + V/M + C apresentou incrementos no estoque de NT de 37,9 e 15,4 % em relação ao PD A/M, nas mesmas camadas de solo anteriormente citadas. As taxas de incremento, muito próximas às da UFSM, foram de 4,7 e 1,8 kg cm⁻¹ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente, para as mesmas camadas. As diferenças entre tratamentos no estoque de NT são atribuídas à fixação biológica de N proporcionada pelas leguminosas, uma vez que o sistema de preparo e a adubação nitrogenada mineral foram uniformes entre os tratamentos em cada uma dessas áreas experimentais.

Quadro 4. Nitrogênio total (NT), nitrogênio na fração particulada (N > 53 µm), nitrogênio na fração associada aos minerais (N < 53 µm), percentagem de N na fração particulada em relação ao NT, nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM) no período de 28 dias, mineralização do NT do solo, para os diferentes tratamentos nas áreas experimentais, na camada de 0–5 cm, e estoque de NT, na camada de 0–20 cm

Local	Sistema de manejo	NT	kg ha ⁻¹		Estoque NT	N > 53 µm NT	NPM
			N > 53 µm	N < 53 µm			
UFSM	S.DESC.	290 c ⁽¹⁾	29 b	261 c	1,24 c	10 a	7,2 a
	POUSSIO/M	493 bc	91 ab	401 b	1,64 c	19 a	14,9 a
	AZEVÉM/M	688 ab	161 a	526 ab	1,83 b	23 a	21,2 a
	MUCUNA/M	769 a	214 a	555 a	1,99 a	28 a	22,8 a
	CN	600 ab	100 ab	500 ab	1,96 ab	17 a	26,8 a
	C.V. (%)	10,1	23,4	6,9	7,3		24,4
UFRGS	PCSN A/M	654 b	51 d	603 c	3,15 d	8 b	6,0 b
	PC A/M	750 b	79 d	670 c	3,52 c	11 ab	9,5 ab
	PR A/M	783 b	94 d	689 c	3,53 c	12 ab	10,6 ab
	PD A/M	923 b	141 c	782 bc	3,44 c	15 ab	13,8 ab
	PD A + V/M + C	1.273 a	224 b	1.050 ab	3,97 b	18 ab	20,5 ab
	GUANDU/M	1.451 a	315 a	1.136 a	4,34 a	22 ab	23,1 ab
	CN	1.327 a	181 bc	1.146 a	4,28 a	14 a	27,3 a
C.V. (%)	9,5	9,7	11,4	6,7		39,6	

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro das mesmas áreas experimentais, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

A adubação nitrogenada mineral também refletiu-se no incremento do estoque de NT. Assim, sob preparo convencional, verificou-se que o PC A/M com aplicação média de $144 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N, após quinze anos, apresentou incrementos de 14,7 e 11,7 %, referentes ao estoque de NT do PCSN A/M, sem aplicação de N, respectivamente, nas camadas de 0–5 e 0–20 cm. Desta forma, aproximadamente 17 % do N mineral aplicado no milho sob preparo convencional ficou armazenado no solo na camada de 0–20 cm. A comparação de tratamentos extremos quanto ao aporte de N, como o GUANDU/M, com elevada adição proveniente da fixação biológica da leguminosa acrescida da adubação nitrogenada mineral no milho, resultou em incrementos de 121,9 e 37,8 % do NT, respectivamente, nas camadas de 0–5 e 0–20 cm, relativo ao PCSN A/M, no qual as únicas adições de N são as naturais.

No sistema plantio direto, a comparação entre o estoque de NT no sistema de cultura com leguminosas (PD A + V/M + C) com o sistema sem leguminosas (PD A/M), ambos com a mesma adubação mineral, permitiu deduzir que aproximadamente 26 % do N aportado via resíduos, no primeiro sistema, ficou armazenado no solo na camada de 0–20 cm. Com isto, constatou-se que o aporte de N via fixação biológica, proporcionado pelas leguminosas, aliado ao plantio direto foi uma estratégia mais eficiente em recuperar o estoque de NT do solo do que o uso da adubação nitrogenada mineral sob preparo convencional.

Os resultados do fracionamento da MOS evidenciaram que esses incrementos de N, proporcionalmente ao existente em cada fração, foram maiores na fração particulada ($> 53 \mu\text{m}$) do que na fração associada aos minerais ($< 53 \mu\text{m}$). Assim, os sistemas MUCUNA/M e GUANDU/M promoveram, respectivamente, incrementos do estoque de N na fração particulada de 114 e 74 % em relação ao verificado no CN. Da mesma forma verificada para o carbono, os tratamentos que proporcionaram incremento do N na fração particulada em relação ao tratamento-referência apresentaram melhor QS, enquanto os tratamentos que promoveram decréscimos neste atributo reduziram a QS. O aumento do estoque de N na fração particulada pode favorecer a disponibilidade desse nutriente às plantas por duas razões principais: (a) por ser esta fração de menor meia-vida, e (b) por estar concentrada na superfície, favorecendo a absorção deste nutriente pelas raízes das plantas.

Potencial de mineralização do nitrogênio do solo (NPM)

Os resultados obtidos de NPM apresentaram elevado CV, fato que corroborou para que os tratamentos, em sua maioria, não mostrassem diferenças significativas. Na área da UFRGS, a utilização de adubação nitrogenada mineral no

tratamento PC A/M incrementou em 58,3 % o NPM em relação ao PCSN A/M. Todavia, a adoção de sistemas conservacionistas teve efeito ainda mais pronunciado, tendo o PD A/M aumentado em 130 % os valores de NPM comparativamente ao PCSN A/M. Assim, o NPM do tratamento PCSN A/M foi apenas 22 % do verificado no CN, indicando que o balanço negativo de entradas e saídas de N, neste sistema, resultou em drástico esgotamento da capacidade do solo de suprimento deste nutriente. Redução semelhante ocorreu no S. DESC., na UFSM, que foi apenas 26,9 % do NPM verificado no CN (Quadro 4).

Os sistemas PD A + V/M + C, na UFRGS, e MUCUNA/M, na UFSM, com mínima mobilização do solo e utilização de leguminosas, apresentaram 75,1 e 85,1 % do NPM verificado nos respectivos CN. Na área da UFSM, as culturas de cobertura azevém e mucuna utilizadas no sistema de produção de milho apresentaram incrementos no NPM de 42,3 e 53,0 % em relação ao POUSSIO/M. O maior percentual de mineralização do N, verificado na área da UFSM, comparativamente ao da UFRGS (Quadro 4), provavelmente está associado à menor proteção física nos intra-agregados e ao menor teor de argila da primeira área (87 g kg^{-1}) comparativamente à segunda (220 g kg^{-1}). Tais resultados concordam com os de Hassink et al. (1993), que encontraram menor NPM em solos com teores mais elevados de argila.

Correspondência do modelo teórico de QS com a MOS e atributos relacionados

Com base no modelo teórico foi avaliado o ajuste dos indicadores à hierarquização da QS proposta (Figura 1). Para tanto, foram utilizados, como base de cálculo, os tratamentos de qualidade inferior: PCSN A/M, na UFRGS, e S.DES., na UFSM, sendo então calculados, para os diferentes indicadores, os incrementos relativos proporcionados pelos sistemas de manejo (Figura 2).

Os incrementos relativos de COT e NT foram eficientes em enquadrar os sistemas de manejo nos níveis de qualidade propostos. Em ambas as áreas, foram verificados comportamentos semelhantes no incremento desses dois atributos, que apresentaram elevado coeficiente de correlação ($r = 0,95$) entre si (Quadro 3). Além disso, as médias dos tratamentos foram significativamente diferentes pelo teste de Tukey, permitindo a diferenciação dos sistemas de manejo utilizados (Quadros 2 e 4). O COT também apresentou elevada correlação com os demais atributos investigados, evidenciando seu potencial de utilização como principal indicador de QS (Quadro 3). Destaca-se que o incremento relativo do NT também apresentou o mesmo potencial.

As avaliações do CO e N retidos na fração $> 53 \mu\text{m}$ apresentaram, dentre os indicadores avaliados, a

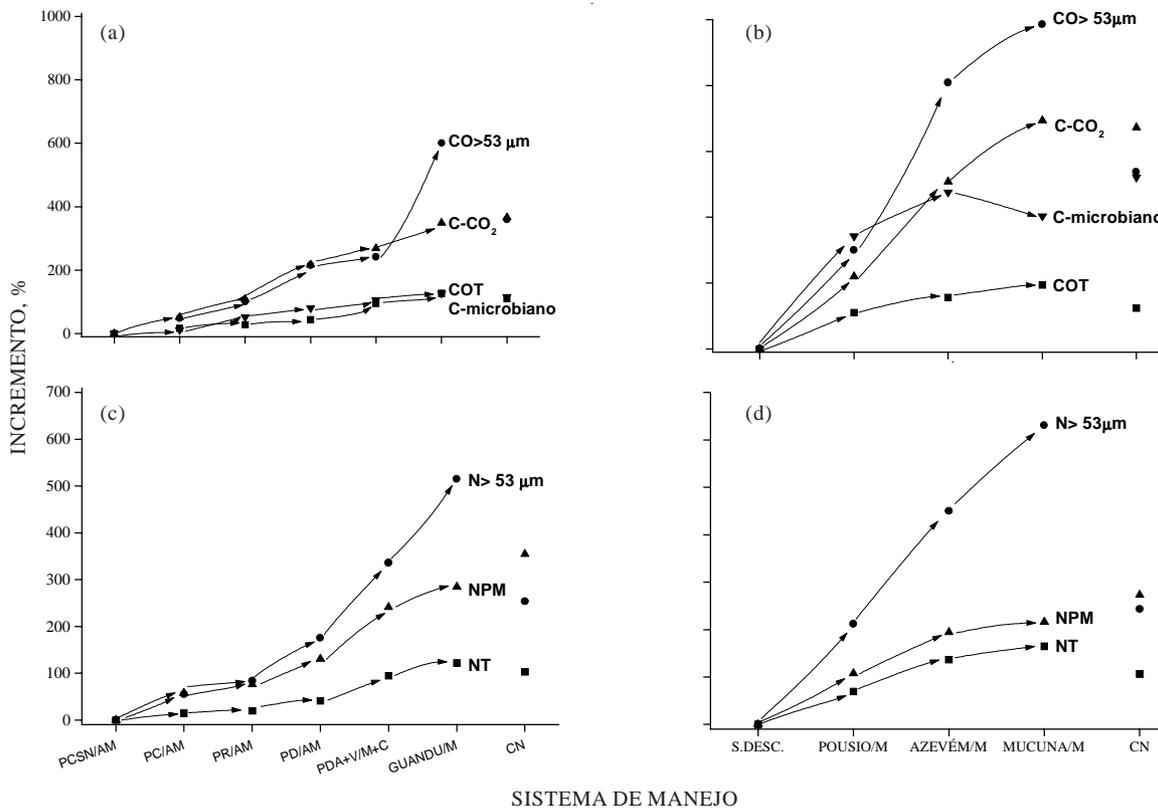


Figura 2. Incremento relativo do carbono orgânico total (COT), potencial de mineralização do carbono no solo (C-CO₂), carbono da biomassa microbiana (C-microbiano), nitrogênio total (NT), nitrogênio potencialmente mineralizável (NPM), carbono orgânico particulado (CO > 53 μm) e nitrogênio na fração particulada (N > 53 μm), na camada de 0–5 cm, sob diferentes sistemas de manejo, nas áreas experimentais da UFRGS e UFSM. O incremento relativo refere-se ao tratamento preparo convencional aveia/milho sem nitrogênio (PCSN A/M) na área experimental da UFRGS (a e c) e ao tratamento solo descoberto (S.DESC.) na área da UFSM (b e d). PC = Preparo convencional; PD = Plantio direto; A = aveia; M = milho; V = vica; C = caupi e CN = campo natural.

maior sensibilidade às práticas de manejo adotado. Para a área da UFSM, os incrementos foram de 984,3 e 637,9 %, para o CO > 53 μm e N > 53 μm, respectivamente, quando o tratamento MUCUNA/M (tratamento superior) foi comparado com o S.DESC. (tratamento inferior). Os incrementos desses indicadores foram 5,0 e 3,8 vezes superiores aos verificados para o COT e NT, respectivamente. Para a área da UFRGS, os incrementos foram de 601,2 e 517,6 %, respectivamente, para o CO > 53 μm e N > 53 μm na comparação entre o PCSN A/M e o GUANDU/M. Assim, estes incrementos foram 4,7 e 4,2 vezes superiores aos verificados para o COT e NT, respectivamente. Esses resultados evidenciam a elevada sensibilidade da fração particulada da MOS em discriminar sistemas de manejo (Figura 2).

Embora a fração associada aos minerais também tenha sido alterada pelos sistemas de manejo, os incrementos foram de 67,1 e 88,4 %, para CO < 53 μm e N < 53 μm, na comparação entre os tratamentos extremos de QS na área da UFRGS

(Quadros 2 e 4). Na outra área experimental, estes incrementos foram de 119,9 e 112,6 %, para a mesma comparação. Estes resultados evidenciam a menor sensibilidade desse compartimento da MOS às práticas de manejo. Portanto, o uso dessa fração não demonstrou ser tão eficiente quanto a particulada.

Dentre os indicadores biológicos, o potencial de mineralização do C (C-CO₂) foi o mais sensível aos sistemas de manejo. Na área da UFRGS, este indicador foi três vezes superior ao COT, semelhante ao obtido para a área da UFSM, quando os tratamentos extremos de QS foram comparados. O uso do NPM, como indicador da QS, também demonstrou adequação ao modelo teórico proposto (Figura 2c e d). Na área da UFRGS, para este indicador, o incremento entre o tratamento de maior QS em relação ao de menor foi 2,2 vezes superior ao COT, enquanto na UFSM foi 1,4 vez superior. O maior incremento do NPM na UFRGS, provavelmente, está relacionado com o histórico de maior aporte de N

via doses de adubação nitrogenada nessa área e com o maior potencial de aporte de N no sistema GUANDU/M (40 % superior), comparativamente ao MUCUNAM (Quadro 1).

Os indicadores como CO > 53 µm, N > 53 µm, NPM e C-CO₂, avaliados em uma camada superficial de solo, por apresentarem elevada sensibilidade, apresentam a vantagem de serem melhores discriminadores de QS do que os demais indicadores. Assim, a análise destes pode permitir que correções nos sistemas de manejo sejam prontamente adotadas antes que a QS seja impactada de forma severa. Embora o COT tenha apresentado menor sensibilidade que os atributos supracitados, a sua utilização como principal indicador de QS, notadamente nos sistemas de manejo adotados por médio e longo prazo, é justificada por ser este atributo rotineiramente utilizado na ciência do solo e as técnicas empregadas para sua determinação atenderem aos critérios econômicos e de simplicidade.

CONCLUSÕES

1. A MOS e os atributos relacionados avaliados, nas duas áreas experimentais, foram eficientes indicadores para discriminar a qualidade do solo (QS) induzida por sistemas de manejo.

2. A QS foi alterada, em ambas as áreas experimentais, pelos sistemas de manejo adotados. O COT e NT, avaliados na camada de 0–5 cm, mostraram-se eficientes em discriminar o impacto de sistemas de manejo sobre a QS, reproduzindo a ordenação proposta. Dentre as frações da MOS avaliadas, a particulada foi a mais sensível em detectar os impactos dos sistemas de manejo.

3. Embora tenham apresentado elevado coeficiente de variação, os indicadores biológicos (NPM, C-CO₂ e C-microbiano) refletiram com eficiência a hierarquia de QS proposta.

LITERATURA CITADA

- AMADO, T.J.C. & MIELNICZUK, J. Plantio direto e rotação de culturas com leguminosas: Uma excelente combinação para promover o incremento da capacidade produtiva do solo. R. Plantio Direto, 50:23-27, 1999.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. R. Bras. Ci. Solo, 25:189-197, 2001.
- AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J.; GRAPEGIA JÚNIOR, G.; PONTELLI, C.B.; ESPÍNDOLA, M.C.G. & PEDRUZZI, C. Qualidade de solos derivados de Areias Quartzosas da fronteira sudoeste do RS: indicadores químicos. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Santa Maria, 1998. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.275-278.
- 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. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.9-26.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. & ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. Plant Soil, 238:133-140, 2002.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; PILLON, C.N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. Soil Sci. Soc. Am. J., 65:1473-1478, 2001.
- CAMBARDELLA, C.C. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil. Sci. Soc. Am. J., 56:777-783, 1992.
- CONCEIÇÃO, P.C. Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 125p. (Tese de Mestrado)
- DEBARBA, L. Sistemas de produção de milho adaptados à conservação do solo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 150p. (Tese de Mestrado)
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-22. (Publication Number, 35)
- DORAN, J.W. & ZEISS, M.R. Soil health and sustainability; Managing the biotic component of soil quality. Appl. Soil Ecol., 15:3-11, 2000.
- DORAN, J.W.; ELLIOTT, E.T. & PAUSTIAN, K. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes inorganic carbon pools as related to fallow tillage management. Soil Till. Res., 49:3-18, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A. & VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23:991-996, 1999.
- FREIXO, A.A. Caracterização da matéria orgânica de Latossolos sob diferentes sistemas de cultivo através de fracionamento físico e espectrografia de infravermelho. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. 86p. (Tese de Mestrado)
- GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. Can. J. Soil Sci., 367-375, 1994.
- HASSINK, J.; BOUWMAN, L.A.; ZWART, K.B.; BLOEM, J. & BRUSSAARD, L. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. Geoderma, 57:105-128, 1993.

- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. *J. Soil Water Conser.*, 55:69-78, 2000.
- LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT, 12., Bangkok, 1991. V.2.
- LIEBIG, M.A.; JONES, A.J.; DORAN, J.W. & MIELKE, L.N. Potential soil respiration and relationship to soil properties in ridge tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:1430-1435, 1995.
- LOVATO, T. Dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 132p. (Tese de Doutorado)
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.
- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- REINERT, D.J.; AMADO, T.J.C.; REICHERT, J.M. & FONTINELLI, F. Qualidade de solos derivados de Areias Quartzosas da fronteira sudoeste do RS: indicadores físicos. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Santa Maria, 1998. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.34-38.
- SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E. & BREDJA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Sci.*, 164:224-233, 1998.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de solos, 5)
- 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.
- VEZZANI, F. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado)
- WOOD, C.W & EDWARDS, J.H. Agroecosystem management effects on soil carbon and nitrogen. *Agric. Ecos. Environ.*, 39:123-138, 1992.